



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CHEMNITZ

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Professur für Energie- und Hochspannungstechnik



Jahresbericht 2019



Adresse:

Technische Universität Chemnitz
 Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
 Professur Energie- und Hochspannungstechnik
 D-09107 Chemnitz

**Dienststz:**

Reichenhainer Str. 70
 A.-F.-Weinholdbau, Raum w317
 D-09126 Chemnitz
 Tel.: +49 371 531 33343
 Fax: +49 371 531 24239

Homepage:

<http://www.tu-chemnitz.de/etit/eneho/>

Anfahrt:

<https://www.tu-chemnitz.de/etit/eneho/kontakt/anfahrt.html> oder Anfahrtsskizze im hinteren Einband

Telefon, Fax, E-mail:

Name:	Telefon:	Fax:	E-mail:
Prof. W. Schufft	+49 371 531 33343	+49 371 531 833343	wolfgang.schufft@etit.tu-chemnitz.de
Prof. D. Amft	+49 371 531 33341	+49 371 531 833341	dietrich.amft@etit.tu-chemnitz.de
Sekret.: A. Voit	+49 371 531 33142	+49 371 531 833142	antje.voit@etit.tu-chemnitz.de
A. Gürlek	+49 371 531 39859	+49 371 531 839859	akif.guerlek@etit.tu-chemnitz.de
D. Kühnert	+49 371 531 39939	+49 371 531 839939	david.kuehnert@etit.tu-chemnitz.de
B. Jacobsen	+49 371 531 30084	+49 371 531 830084	benjamin.jacobsen@etit.tu-chemnitz.de
J. Lippold	+49 371 531 33341	+49 371 531 833341	juergen.lippold@etit.tu-chemnitz.de
K. Malekian	+49 371 531 35022	+49 371 531 835022	kia.malekian-boroujeni@etit.tu-chemnitz.de

F. Safargholi	+49 371 531 31926	+49 371 531 831926	farhad.safargholi@etit.tu-chemnitz.de
M. Stark	+49 371 531 33364	+49 371 531 833364	michael.stark@etit.tu-chemnitz.de
S. Taghipour	+49 371 531 38450	+49 371 531 838450	siavash.taghipour-broujeni@etit.tu-chemnitz.de
Dr. J. Teuscher	+49 371 531 37752	+49 371 531 837752	jens.teuscher@etit.tu-chemnitz.de

Redaktion: Benjamin Jacobsen; Philipp Spindler

Titelfoto: Ansicht des *Lulatsch* – Schornstein des Heizkraftwerkes Chemnitz

1 Vorwort

Sehr geehrte Freunde und Partner,

das Jahr 2019 liegt hinter uns. Wir wollen in bewährter Weise die Chance nutzen, unsere Arbeiten zu resümieren und dabei über Ereignisse, Höhepunkte und Entwicklungen informieren.

In vielerlei Hinsicht liegt ein bewegtes Jahr hinter uns. Die klimafreundlichen Aktivitäten unserer Jugend, das politische Beben auf Landesebene oder die Auswirkungen der schrecklichen Ereignisse in Chemnitz im Herbst 2018 haben die Sichtweisen vieler im Land verändert.

Aber auch an unserer Professur gab es Veränderungen. So sind Dr. Abdullah Hoshmeh, Liana Jacob und Kai Jacob aus der Professur ausgeschieden. Ihnen wünschen wir viel Erfolg. Dafür wird unser Team seit diesem Jahr von Philipp Spindler sowie Siavash Taghipour-Broujeni und Kia Malekian-Boroujeni verstärkt. So hält sich der personelle Bestand der Professur auf konstant gutem Niveau, obwohl wir unsere eigenen Ansprüche an Drittmittelaktivitäten nicht ganz erfüllen konnten.

Der allseits diskutierte Fachkräftemangel macht auch um unsere Professur keinen Bogen. So wird man vor immer größere Herausforderungen gestellt, passende engagierte Fachkräfte für oft anspruchsvolle Aufgaben zu finden. Etwas beruhigend schaue ich hier aber in die nächsten zwei Absolventenjahrgänge. Schon jetzt bereichern einige motivierte und neugierige Studierende unser Team, von denen hoffentlich die ein oder anderen auch nach dem Abschluss unserer Professur treu bleiben.

Neugierig und motiviert trifft sicherlich auch auf eine Vielzahl von jungen Menschen zu, welche sich in den „Fridays for Future“-Bewegungen eine Stimme verschafft haben. Die konfliktreichen Diskussionen um die zukünftigen Entwicklungen rund um das Thema „Energie“ haben eine derartige Wirkung gezeigt, dass selbst die Politik diese nicht ungehört abprallen lassen konnte. So sind umstrittene Klimaschutzpakete für Bund und Europa verabschiedet wurden und damit der Braunkohleausstieg mehr oder weniger festgelegt. So wird wohl auch unser auf dem Titelbild abgebildete „Lulatsch“, wie der von weiten schon zu erkennende Schornstein des Heizkraftwerks von Chemnitz genannt wird, bald keine Rolle bei der Energieversorgung mehr spielen. Als Denkmal des Kohlezeitalters wird er uns aber sicherlich noch länger erhalten bleiben. Wir sind gespannt, auf welche Weise sich die energiepolitischen Weichenstellungen für unsere Aktivitäten an der Professur, aber auch uns als Privatpersonen, auswirken.

Der „Lulatsch“ ist jedoch auch ein Sinnbild für Chemnitz, vielleicht auch bald für die Kulturhauptstadt Europas 2025. Das Bewerbungsverfahren ist noch im Gange, jedoch kann ich

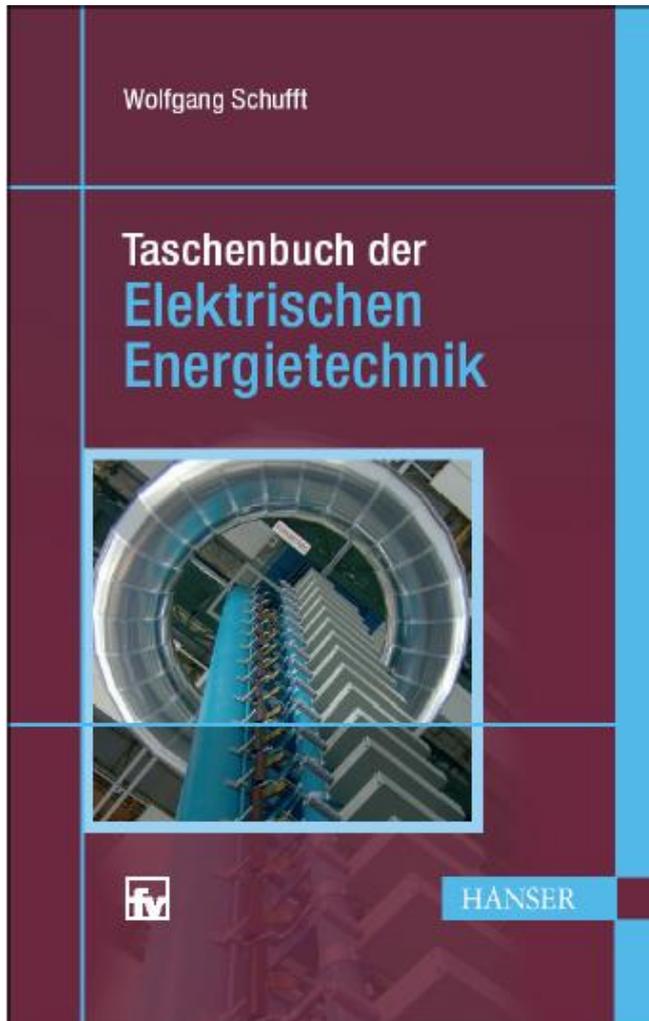
Ihnen schon jetzt einen Besuch unserer schönen Stadt am Rande des Erzgebirges ans Herz legen.

Beim Blick ins neue Jahr schaue ich optimistisch auf die zukünftigen Herausforderungen und freue mich auf die weitere Zusammenarbeit mit Ihnen. Ich wünsche Ihnen einen erfolgreichen Start ins neue Jahr, viel Glück und aus aktuellem Anlass vor allem viel Gesundheit. Bei allen beruflichen und privaten Herausforderungen ist die Gesundheit die Basis unseres Schaffens. Leider ist Prof. Schufft in der zweiten Jahreshälfte plötzlich erkrankt, wodurch die Professur in kollektive Selbstverwaltung übergegangen ist. Wir hoffen auf baldige Genesung von Prof. Schufft, um sein 20. Dienstjubiläum im April 2020 zu ehren.

Chemnitz im Dezember 2019

Ihr



**Inhalt:**

1. Energiebegriff, allgemeine Grundlagen (W. Schufft)
2. Elektroenergiebereitstellung (U. Rindelhardt, T. Sander, J. Zschernig)
3. Betriebsmittel in Elektroenergienetzen (T. Hiller)
4. Planungsaspekte für elektrische Netze und Anlagen (J. Backes, H. Bauer, P. Schegner)
5. Beanspruchungen von Betriebsmitteln (W. Schufft, S. Großmann, H. Löbl)
6. Hochspannungstechnik (W. Schufft)
7. Schaltgerätetechnik (F. Berger)
8. Elektrische Maschinen und Antriebe (W. Hofmann)
9. Leistungselektronik (W. Hofmann)
10. Elektroenergieanlagensicherheit (K.-H. Freytag, P. Schegner)
11. Elektroenergiewirtschaft (N. Menke)

Inhalt

1	Vorwort.....	3
2	Personelle Besetzung	7
3	Lehre	9
3.1	Studienablaufpläne	9
3.2	Beschreibung der Lehrfächer der Professur	10
4	Forschung.....	14
4.1	Schwerpunkte.....	14
4.2	Aktuelle Promotionsvorhaben	17
5	Abgeschlossene wissenschaftliche Arbeiten	30
5.1	Masterarbeiten	30
5.2	Bachelorarbeiten	31
6	Veröffentlichungen und Konferenzbeiträge.....	32
7	Externe Aktivitäten und Kontakte.....	33
7.1	Teilnahmen an Konferenzen, Tagungen, Kolloquien	33
7.2	Gäste an der Professur	34
8	Höhepunkte	35
8.1	Lange Nacht der Wissenschaften am 04. Mai 2019	35
8.2	Fachexkursion zur „Gläserne Manufaktur“ in Dresden am 18. Juni 2019	36
8.3	Erfolgreicher Abschluss des ESF-geförderten Projektes SyNErgIt am 31. Juni 2019 ...	37
8.4	Schnelle Zeiten beim Chemnitzer Firmenlauf am 04. September 2019.....	38
8.5	Promotionsverteidigung Dr. Reik Liebmann 21. September 2019	39
8.6	Weihnachtsfeier am 4. Dezember 2019.....	40
9	Ausstattung für Praktika und Prüfungen in der Hochspannungstechnik.....	41
10	Laborausstattung.....	44
11	Dienstleistungsangebote.....	48
11.1	Dielektrische Prüfungen.....	48
11.2	Diagnosemöglichkeiten	48
11.3	Prüfung der Stromtragfähigkeit	48
11.4	Spezielle Messaufgaben	49
11.5	Virtueller Stoßspannungsgenerator.....	49
11.6	Netzanalysen	49
12	Referenzen.....	50

2 Personelle Besetzung



Prof. Dr.-Ing. Wolfgang
Schufft
Leiter der Professur



Prof. em. Dr.-Ing. habil.
Dietrich Amft - Emeritus



B.A. Antje Voit
Sekretariat



Dipl.-Ing. Akif Gürlek
Doktorand



Dr.-Ing. Abdullah Hoshmeh
Mitarbeiter bis 01/19



Dipl.-Ing. David Kühnert
Doktorand



M.Sc. Kai Jacob
Doktorand bis 06/19



M.Sc. Liana Jacob
Doktorandin bis 06/19



M.Sc. Benjamin Jacobsen
Doktorand



M.Sc. Farhad Safargholi
Doktorand



M.Sc. Philipp Spindler
Doktorand seit 10/19



M.Sc. Siavash Taghipour-
Broujeni
Doktorand seit 03/19



Dr.-Ing. Jens Teuscher
Mitarbeiter



Jürgen Lippold
Technischer Angestellter



Michael Stark
Technischer Angestellter



M.Sc. Kia Malekian-Boroujeni
Stipendiat seit 10/19



Prof. Dr.-Ing. Thilo Bocklisch
Lehrbeauftragter



Dr.-Ing. Kaveh Malekian-
Boroujeni
Lehrbeauftragter



Prof. Dr.-Ing. Norbert Menke
Lehrbeauftragter



Dr.rer.nat. Ralf Pietsch
Lehrbeauftragter



Dr. Morteza Eslamian
Gastwissenschaftler
von 07/19 bis 09/19



Dipl.-Ing. Eckart Wiesen-
huetter
Externer Doktorand



M.Sc. Michael Würfel
Externer Doktorand

3 Lehre

3.1 Studienablaufpläne

Lehrfach	Lehrver- antwortli- cher	Bachelor Elektrotechnik				Master Ener- gie- u. Auto- matisierungs- systeme	
		3. Sem.	4. Sem.	5. Sem.	6. Sem.	7. Sem.	8. Sem.
Basismodule:							
Elektrische Energietechnik/Nachhaltige Elektroenergieerzeugung	Schufft	2 1 0*					
Hochspannungstechnik	Schufft			3 1 2			
Elektroenergieübertragung u. -verteilung	Schufft				3 1 2		
Vertiefungsmodule:							
Netze und Betriebsmittel	Schufft				2 1 0		
Beanspruchung von Betriebsmitteln	Schufft					3 1 1	
Statistik und Isolationskoordination	Schufft						2 1 0
Ergänzungsmodule:							
Elektroenergiewirtschaft	Menke					1 0 0	
Netzberechnung und Schutztechnik	Teuscher						2 1 0
Diagnose- und Messtechnik	Pietsch						2 0 0
Elektroenergiespeicher und -wandlungssysteme	Bocklisch						1 0 0
Netzdynamik – HGÜ und FACTS	Malekian					1 0 0	

* 2 1 0 bedeutet: 2 SWS (Semesterwochenstunden zu 45 min) Vorlesung, 1 SWS Übung, 0 SWS

Praktikum. Wahlfächer werden für ein bestimmtes Semester empfohlen, z.B. im 8. Semester, auch eine frühere Belegung (in Klammern), z.B. im 6. Semester, ist möglich.

3.2 Beschreibung der Lehrfächer der Professur

Elektrische Energietechnik/ Nachhaltige Elektroenergieerzeugung

Basismodul im Bachelor-Studiengang Elektrotechnik, 3. Semester

Umfang: 15 Vorlesungen / 7 Übungen

Prof. Schufft

Inhalt: Energiebegriff, Überblick über das Elektroenergieversorgungssystem, Elektroenergieerzeugung in Wärmekraftwerken, Nutzung von Solarenergie, Elektroenergieerzeugung in Wasserkraftwerken, Elektroenergieerzeugung durch Windenergieanlagen, Elektroenergieerzeugung aus Bioenergie

Hochspannungstechnik

Basismodul im Bachelor-Studiengang Elektrotechnik, 5. Semester

Umfang: 23 Vorlesungen / 7 Übungen / 7 Praktikumsversuche

Prof. Schufft

Inhalt: Beanspruchungen von Isolierungen, Erzeugung hoher Spannungen, Klassifizierung und Berechnung des elektrischen Feldes, Entladungsphysik von Gasen, flüssigen und festen Isolierstoffen

Elektroenergieübertragung und -verteilung

Basismodul im Bachelor-Studiengang Elektrotechnik, 6. Semester

Umfang: 23 Vorlesungen / 7 Übungen / 7 Praktikumsversuche

Prof. Schufft

Inhalt: Aufbau, Struktur und Komponenten des Elektroenergiesystems, wichtige Berechnungsgrundlagen (wie symmetrische Komponenten) und deren Anwendung auf ausgewählte Elemente des Elektroenergiesystems

Netze und Betriebsmittel

Vertiefungsmodul im Bachelor-Studiengang Elektrotechnik, 6. Semester

Umfang: 15 Vorlesungen / 7 Übungen

Prof. Schufft

Inhalt: Aufbau des Elektroenergienetzes, Spannungsebenen und Netzformen, Netztopologie, Systematisierung der Betriebsmittel, Aufbau und stationäres Verhalten von Betriebsmitteln, wie Leitungen, Transformatoren, Kompensationsanlagen

Beanspruchung von Betriebsmitteln

Vertiefungsmodul im Master-Studiengang Energie- und Automatisierungssysteme, 1. Semester

Umfang: 23 Vorlesungen / 7 Übung / 3 Praktikumsversuche

Prof. Schufft

Inhalt: Klassifizierung und Beschreibung der Beanspruchungen von Betriebsmitteln durch innere und äußere Überspannungen, Wanderwellen, Lichtbögen und Kurzschlussströme, Wärmeberechnungen, Auslegungsprinzipien von Betriebsmitteln, insbesondere von Schaltern

Statistik und Isolationskoordination

Vertiefungsmodul im Master-Studiengang Energie- und Automatisierungssysteme, 2. Semester

Umfang: 15 Vorlesungen / 7 Übungen

Prof. Schufft

Inhalt: Statistische Verteilungsfunktionen und deren Anwendung zur Beschreibung des Isoliervermögens und von elektrischen Beanspruchungen, Planung von Hochspannungsprüfungen und Testverfahren zum Nachweis der Unabhängigkeit von Messreihen, Grundzüge der Isolationskoordination, Grundbegriffe der Zuverlässigkeit einschließlich deren Berechnung

Elektroenergiewirtschaft

Ergänzungsmodul im Master-Studiengang Energie- und Automatisierungssysteme, 1. Semester

Umfang: 7 Vorlesungen

Prof. Menke

Inhalt: Grundlagen der Energiewirtschaft, Kosten der Energieversorgung, Investitionsrechnung, Energiepreisbildung, Belastungskurven, Kraftwerkseinsatz und Lastverteilung, wirtschaftlicher Verbundbetrieb, Betriebsmittelauslastung, Least-Cost-Planning, Durchleitung, Marketing und neue wirtschaftliche Aspekte

Netzberechnung und Schutztechnik

Ergänzungsmodul im Master-Studiengang Energie- und Automatisierungssysteme, 2. Semester

Umfang: 15 Vorlesungen / 7 Übungen

Dr. Teuscher

Inhalt: Netztopologie, Leistungsflussberechnungen in Strahlen-, Ring- und Maschennetz, Methoden zur Kurzschlussberechnung (symmetrisch und unsymmetrisch), Schutzmaßnahmen im Niederspannungsnetz, Schutz im Mittelspannungsnetz, Schutzkriterien und Sensoren

Diagnose- und Messtechnik

Ergänzungsmodul im Master-Studiengang Energie- und Automatisierungssysteme, 2. Semester

Umfang: 15 Vorlesungen

Dr. Pietsch

Inhalt: Aspekte der Instandhaltung und Qualitätssicherung, Messung des Scheitelwertes der Spannung, Transienten-Messsysteme, nichtkonventionelle Messwandler, Teilentladungs- und Verlustfaktor-Messtechnik, Diagnose und Messtechnik für Kabel, gasisolierte Schaltanlagen (GIS) und Transformatoren

Energiespeicher und -wandlungssysteme

Ergänzungsmodul im Master-Studiengang Energie- und Automatisierungssysteme, 2. Semester

Umfang: 7 Vorlesungen

Prof. Dr. Bocklisch

Inhalt: Überblick über die Transformation des Elektroenergiesystems, Thermische Energiespeicher, Schwungradspeicher, Pumpspeicher- und Druckluftspeicherkraftwerke, Brennstoffzellen und Wasserstoffspeicher, Batterien und Doppelschichtkondensatoren, Multispeicher-Hybridsysteme

Netzdynamik – HGÜ und FACTS

Ergänzungsmodul im Master-Studiengang Energie- und Automatisierungssysteme, 1. Semester

Umfang: 7 Vorlesungen

Dr. Malekian-Boroujeni

Inhalt: Wirk- und Blindleistungsfluss, Leistungselektronische Umrichterkonfigurationen, Leistungselektronische Komponenten bei Gleichstromübertragung (HGÜ, Leistungselektronische Komponenten bei der Drehstromübertragung und -verteilung (FACTS), Einfluss leistungselektronischer Komponenten auf die Netzstabilität und die Spannungsqualität, Anwendungen, Studien und Projekte

4 Forschung

4.1 Schwerpunkte

Die Schwerpunkte in der Forschung orientieren sich an den Anforderungen der Übertragungs- und Verteilnetzbetreiber sowie der Industrie des deutschen und internationalen Marktes. Entwicklungen mit hohem wissenschaftlichem Potenzial sind dabei auf dem Gebiet der Einbindung großer Off-Shore-Windparks und der Integration dezentraler Einspeiser zu verzeichnen. Als Folge des zunehmenden Kostendrucks auf die Netzbetreiber, verursacht durch die Regulierung des Energiemarktes, werden verbesserte Systeme zur Entwicklung effizienter Instandhaltungs- und Erneuerungsstrategien notwendig. Zur Bedienung dieser Systeme müssen Kenntnisse vorliegen, die ein Abbild des momentanen Betriebszustandes und der Reduzierung des Isoliervermögens erlauben. Unter den genannten Forschungsschwerpunkten finden sich weitere Informationen mit Kurzfassungen zu den Tätigkeiten.



Abbildung 1: Forschungsschwerpunkte und Arbeitsgebiete der Professur

Netzintegration der Elektromobilität

- Auswirkungen der Elektromobilität auf das zukünftige Elektroenergiesystem
- Konzepte für multimodale Mikromobilität unter Nutzung lokaler regenerativer Energien (Nachwuchsforscherguppen fahrE und ECoMobility)

Modellierung zukünftiger Niederspannungsnetze:

- Simulation und Optimierung von Leistungsflüssen
- Belastung zukünftiger Niederspannungsnetze unter Beachtung von Verbraucher- und Erzeugerstrukturen

Speichersysteme für eine nachhaltige Energieversorgung

- Intelligente dezentrale Energiespeichersysteme (Nachwuchsforscherguppe IDE)
- Konzepte zur Speicherung von Elektroenergie im Megawatt-Bereich

Probabilistische Netzplanung:

- Probabilistische Untersuchung zur Bewertung der Lastsituation unter Einbeziehung dezentraler Erzeugungseinheiten
- Untersuchung der Einspeisecharakteristik von Photovoltaik und Windenergie in der Mittelspannungsebene
- Energieeffiziente Netzauslastung (Nachwuchsforscherguppe „SyNErgIT“)

Netzanbindung leistungsstarker regenerativer Erzeugungsanlagen

- Einfluss großer Wind- und PV-Parks auf die Übertragungs- und Verteilungsnetze
- Implementierung leistungsstarker HVDC-Systeme
- Entwicklung geeigneter Modelle von Windenergieanlagen zur Beschreibung des Systemverhaltens

Zustandsbewertung und Asset-Management

- Lebensdaueranalysen von Anlagegütern in Bezug auf den Gesamtanlagenbestand
- Untersuchung der Auswirkungen auf die Restlebensdauer von Mittelspannungs-Massekabeln durch Masseverarmung in Gefällestrecken
- Optimierung von Instandhaltungsstrategien
- Labor-Untersuchungen an Mittelspannungskabeln und -garnituren und Isoliersystemen
- Mess-, Diagnose- und Prüfverfahren (Teilentladung, Verlustfaktor, Stufentests, Dauerversuch, ...)
- Modellierung von Betriebsmitteln
- Vor-Ort-Untersuchungen mit einem mobilen Diagnose- und Messsystem

Ausgleichsvorgänge im Elektroenergiesystem

- Transiente Ausgleichsvorgänge auf langen Kabelstrecken in der HS- und HöS-Spannungsebene
- Berechnung von Überspannungen bei Schalt- und Fehlervorgängen im Mittelspannungs- und Hochspannungsnetz

Isolationskoordination

- Isolationskoordination in ausgedehnten Industrieanlagen und Netzen
- Untersuchungen zur Ausbreitung von Blitzströmen im Hoch- und Höchstspannungsnetz unter Berücksichtigung der frequenzabhängigen Parameter von Betriebsmitteln

Oberschwingungsverhalten regenerativer Erzeugungsanlagen

- Überlagerung verschiedener Erzeugungseinheiten (Verbundprojekt Netzharmonie)
- Modellierung frequenzabhängiger Parameter der Netzkomponenten
- Optimierung der Umrichter-Modulationstechnik zur Verbesserung des Oberschwingungsverhaltens am Netz

4.2 Aktuelle Promotionsvorhaben

In der folgenden Übersicht sind die Arbeitsthemen der aktuellen Promotionsvorhaben genannt. Einen Eindruck über diese Themen und deren Bearbeitungsfortschritt sollen die darauffolgenden Beiträge vermitteln.

- Aldiab, A.*:** Optimierter Betrieb von STATCOMs zur Verbesserung der Elektroenergiequalität unter besonderer Berücksichtigung von Oberschwingungen
- Dietrich, A.*:** Analyse von Betriebsdaten großer Photovoltaik (PV)-Kraftwerke in Europa zur Verifizierung von Berechnungsmodellen in Simulationsprogrammen
- Gürlek, A.:** Zum Entladungsverhalten der Spitze-Spitze-Elektrodenanordnung großer Elektrodenabstände bei Blitzspannung
- Hadid, S. *:** Untersuchung der Einflussfaktoren auf den frequenzabhängigen Verlustfaktor an VPE-isolierten Mittelspannungskabeln
- Jacobsen, B.:** Spannungsqualitätsmarkt – Konzeptionierung eines Marktes für Spannungsqualität unter technischen und ökonomischen Gesichtspunkten
- Kühnert, D.:** Entwicklung einer intelligenten Ladesteuerung für Elektrofahrzeuge in einem Mobility-On-Demand-Konzept unter der Nutzung lokaler regenerativer Energien
- Liebmann, R.*:** Wertorientierte Unternehmensführung von Verteilnetzbetreibern durch Optimierung der Werttreiber Investition und Instandhaltung
- Malekian, K.:** Beurteilung von Oberschwingungsemissionen mehrerer Anschließteilnehmer an einem Netzanschlusspunkt
- Safargholi, F.:** Ansätze zur Identifizierung der dominanten Oberschwingungsquelle am Netzanschlusspunkt
- Spindler, P.:** Erstellung eines Planungsleitfadens für Niederspannungsnetze mit effizienter Anwendung von Lastflussberechnungen
- Taghipour Broujeni, S.:** Korona Einsetzspannung in Abhängigkeit der Spannungsform
- Wiesenhütter, E.*:** Untersuchung der Auswirkungen von Oberschwingungen höherer Ordnung auf elektrische Betriebsmittel in Energieverteilungssystemen, insbesondere auf Transformatoren
- Würfel, M.*:** Universelle dynamische Netzberechnung

* externe Promotion



Untersuchungen an der Spitze-Spitze-Elektrodenanordnung mit großen Elektrodenabständen bei Blitzstoßspannungen

Dipl.-Ing. Akif Gürlek

Zum Entladungsverhalten der Spitze-Spitze-Elektrodenanordnung bei standardisierter und oszillierender Blitzstoßspannung

Das Hauptanliegen dieses Forschungsvorhaben besteht darin, einen Beitrag zur Modellierung des rückwärtigen Überschlages zu leisten. In heutigen Simulationsprogrammen wie ATP/EMTP stehen beispielsweise für Netzsimulationen zur Isolationskoordination lediglich mathematisch ungenaue Modelle (messtechnisch nicht verifiziert) für die Berechnung schnellveränderlicher Vorgänge infolge direkter Blitzeinschläge in den Leitern zur Verfügung. Bisher wird das Verhalten des rückwärtigen Überschlages für eine statistische Auswertung nicht in Betracht gezogen oder es werden Werte (aus mathematischer Modellierung) mit einem hohen Sicherheitsfaktor beaufschlagt.

Im Rahmen der Arbeit von Shirvani konnte erstmals das Durchschlagverhalten bei Blitzspannung messtechnisch ermittelt und anschließend beschrieben werden. Um die Messung zu realisieren, wurde ein Messsystem entwickelt, mit welchem kleine Vorentladeströme (wenige 10 A) bei sehr hoher Spannung (bis zu 2,4 MV) aufgenommen werden können. Des Weiteren wurde mit einer Hochgeschwindigkeitskamera eine Fotosequenz mit einer Bildreihenfolge von bis zu 8 Bildern aufge-

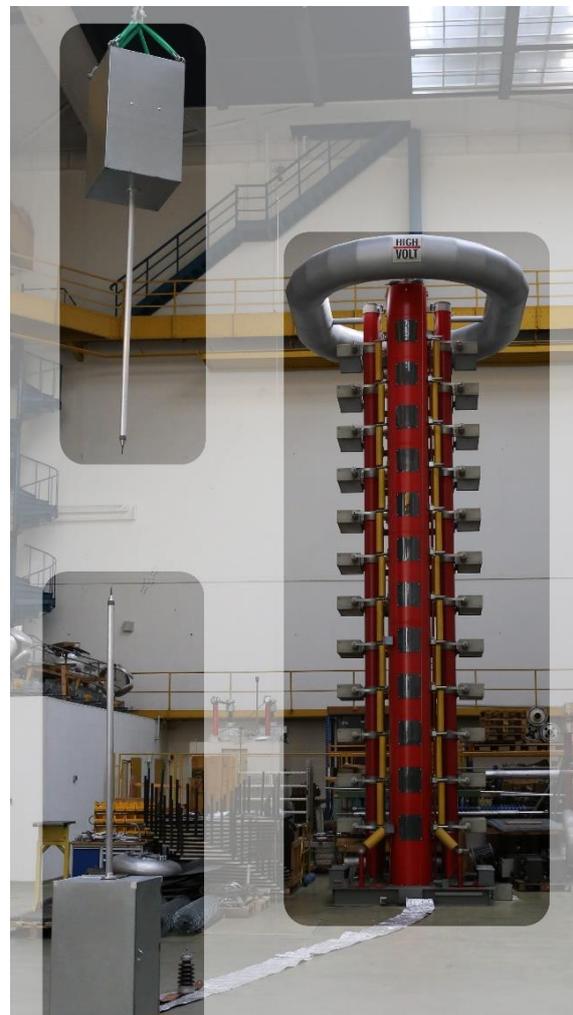


Abbildung 1: Messanordnung zur synchronen Erfassung der Vorentladeströme beidseitiger Elektroden

nommen. Für die Ermittlung des grundsätzlichen Verhaltens wurden Messungen an einer Spitze-Platte-Elektrodenanordnung durchgeführt.

Für den realen Anwendungsfall des rückwärtigen Überschlags bedarf es an weiterem Forschungsbedarf. Hier gilt es, die im Grundsatz ermittelten Zusammenhänge an einer realen Elektrodenersatzanordnung zur Nachbildung eines Hochspannungsfreileitungsisolators zu prüfen und nachzuweisen. Werden lediglich die Lichtbogenschutzarmaturen des Isolators betrachtet, so ist der Anordnung zu entnehmen, dass sie zwei gegenüberliegende Spitzen darstellen. Um den Isolator zu Messzwecken auf eine Ersatzanordnung zu überführen, wird sich für eine Spitze-Spitze-Elektrodenanordnung entschieden.

Für diese symmetrische Elektrodenanordnung kann nicht explizit genannt werden, von welcher Elektrode die Entladung beginnen bzw. den höchsten Einfluss auf das Entladungsverhalten bei einem Durchschlag haben. Aus diesem Grunde bedarf es an beiden Seiten der Elektroden eine gleichzeitige Messung des Stromes. Hierfür wurde ein Messsystem entwickelt (siehe Abbildung 1), bei dem eine synchrone Messung des Vorentladungsstroms an beiden Enden der Elektroden möglich ist. So lässt sich der Einfluss beider Seiten auf den Durchschlagprozess ermittelt. Neben der Strommessung wird mithilfe einer Bildverstärkerkamera das Entladungsverhalten in einer Bildsequenz aufgenommen. Die Untersuchungen belaufen sich nicht nur bei standardisierter Blitzspannung, sondern auch bei oszillierender Blitzspannung. Für das Letztere wurde der Marx-Generator modifiziert, um oszillierende Blitzspannungen zu erzeugen.

Das Entladungsverhalten bei standardisierter Blitzspannung

Die Entladungsprozesse an der Spitze-Spitze-Elektrodenanordnung bei standardisierter Blitzspannung bestehen aus drei Phasen. Diese sind in der Reihenfolge nach ihrem Auftreten die Streamerphase, der Kanalübergang und die Kanalbildung. Eine Bildsequenz zur Darstellung der Entladungsprozesse kann der Abbildung 2 entnommen werden.

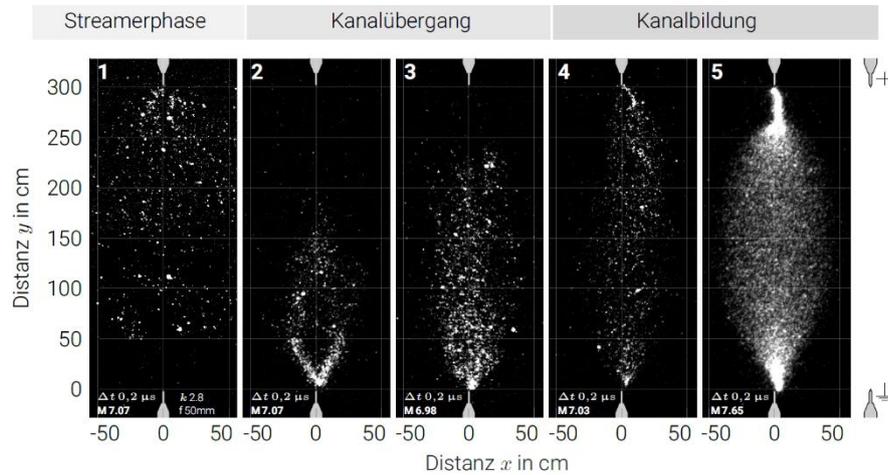


Abbildung 2: Phasen im Entladungsverhalten der Spitze-Spitze-Elektrodenanordnung bei standardisierter Blitzspannung

An der positiven Spitzenelektrode (Spitzenelektrode am Hochspannungspotential) entstehen durch Photo- und Stoßionisationsprozesse freie Ladungsträger. Diese Ladungsträger ionisieren infolge von Lawinen- und Streamerentladungen den unmittelbaren Raum vor der positiven Spitzenelektrode. Ihre Ausbreitung entspricht visuell einer Halbkugel und wächst radial symmetrisch entlang der Elektrodenachse. In Abhängigkeit des Scheitelwertes der Blitzspannung breiten sich die Streamerentladungen weiter in den Elektrodenzwischenraum aus. An der negativen Spitzenelektrode (Spitzenelektrode am Erdpotential) entstehen stochastisch, in Form von Streamerbahnen, Entladungen, die sich zufällig ausbreiten und den unmittelbaren Raum vor der negativen Spitzenelektrode ionisieren. Eine reproduzierbare Ausbreitungsrichtung der Streamerbahn ist nicht festzustellen.

Liegt eine mittlere Feldstärke $E_{ku} \approx 4,9 \text{ kV/cm}$ vor, können die Streamerentladungen in der Streamerphase den kompletten Elektrodenzwischenraum überbrücken. Somit ist der Elektrodenzwischenraum vollständig ionisiert. Bei Ankunft der Streamerentladungen in dem ionisierten Raum vor der negativen Spitzenelektrode, werden die negativen Raumladungen von den positiv zurückgebliebenen Ionen der Streamerentladungen angezogen. Bedingt durch das hohe Potentialgefälle diffundieren die Ladungsträger (Elektronen) sehr schnell in den Raum positiver Ionen der Streamerphase. Sie breiten sich nun in Richtung der positiven Spitzenelektrode aus. Die Ausbreitung ist in dieser Phase nicht abhängig von dem Scheitelwert der Blitzspannung, sondern von der freigesetzten Ladung der negativen Spitzenelektrode.

Wird an der negativen Spitzenelektrode eine Mindestmenge an Ladungen $q_{nE_{ku}} > 20 \mu\text{As}$ erfasst, so ist das Kriterium für die Kanalbildung erfüllt. Damit wird eine genügend hohe Menge an Ladungsträger von der negativen Spitzenelektrode freigesetzt, bei dem die Entladungen die positive Spitzenelektrode erreichen können. Dort angekommen, schnüren sie sich zu einem Kanal ein. Aufgrund des hohen Stromflusses bildet sich an der negativen Spitzenelektrode ebenfalls ein Kanal. Treffen sich beide Kanäle, so kommt es zu einem Durchschlag. Durchschläge treten nur dann auf, wenn der Spannungsbedarf der Kanalbildung kleiner als die momentane Blitzspannung ist. Dies ist meist der Fall, wenn die Kanalbildung spätestens zum Zeitpunkt $t_k < 9 \mu\text{s}$ einsetzt. Damit liegt an der Elektrodenanordnung eine genügend hohe Feldstärke für den Transport der Ladungsträger an.

Das Entladungsverhalten bei oszillierender Blitzspannung

Das Entladungsverhalten der oszillierenden Blitzspannung besteht aus denselben Phasen, die bei der standardisierten Blitzspannung in Erscheinung getreten sind. Bedingt durch den Blitzspannungsverlauf differenziert sich ihr Auftreten. Die Darstellung des Entladungsverhaltens kann der Abbildung 3 entnommen werden.

Zunächst treten in der ersten Halbperiode der oszillierenden Blitzspannung die Streamerphase, der Kanalübergang und die Kanalbildung ein. Aufgrund des Absinkens der momentanen Blitzspannung kommen die Entladungen zum Stillstand. D. h., es finden keine Wechselwirkungsprozesse zwischen Ladungsträgern und Atomen/Molekülen statt und somit wird auch keine Strahlung ausgesendet.

Bei erneutem Anstieg der anliegenden Blitzspannung wiederholen sich die Phasen (Streamerphase, Kanalübergang, Kanalbildung), die in der vorherigen Periode der Residualkurve der oszillierenden Blitzspannung aufgetreten sind. Bevor sich nun erneut Streamerentladungen in der Streamerphase an der positiven Spitzenelektrode entwickeln, wird zunächst der Kanal ausgebildet, welcher sich in der vorherigen Periode der Residualkurve entwickelt hat. Es ist davon auszugehen, dass in der Phase der Kanalbildung in der vorherigen Periode der Residualkurve ein stark ionisierter Kanal vorliegt, dessen Ladungsträger noch nicht vollständig rekombiniert sind. Dies begünstigt den Kanalaufbau noch vor der Entwicklung der Streamerentladungen.

Diese Phasen treten nun in den weiteren Perioden der Residualkurve auf, solange die Bedingung $E > 4,5 \text{ kV/cm}$ erfüllt wird.

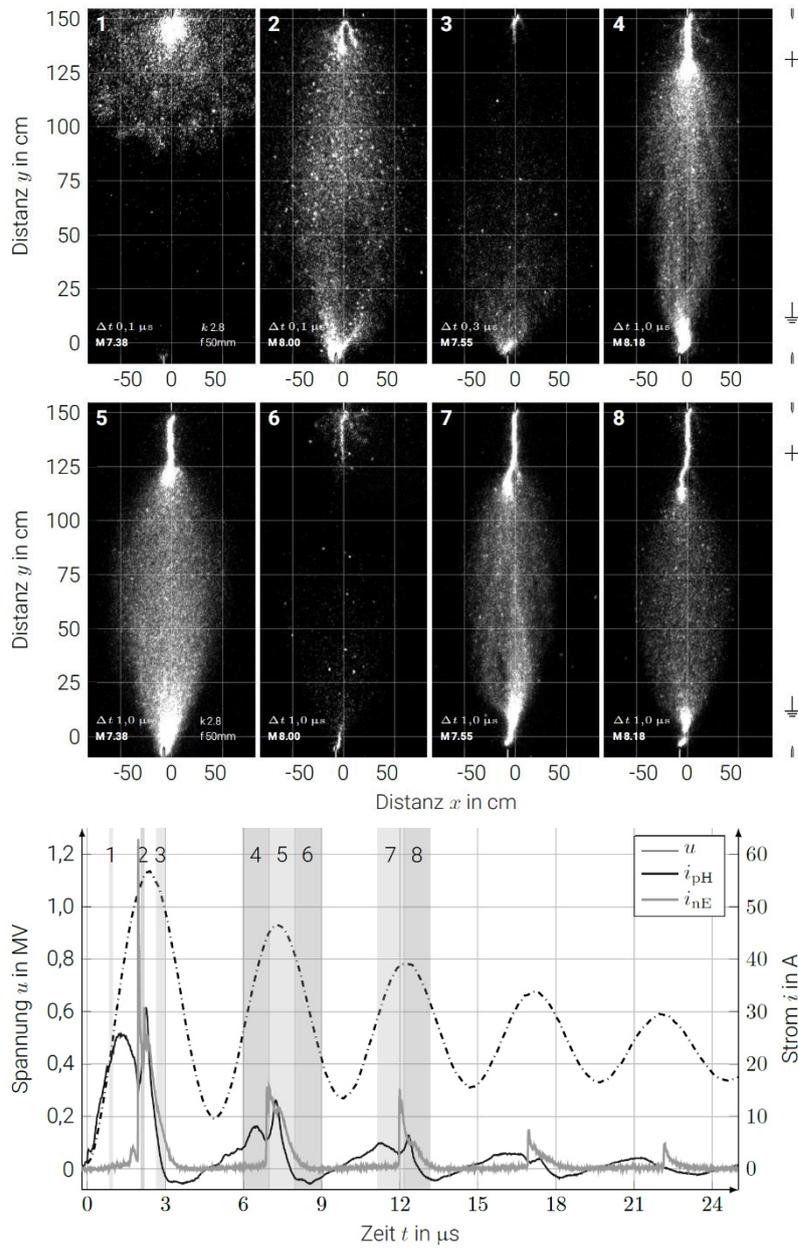


Abbildung 3: Entladungsverhalten der Spitze-Spitze-Elektrodenanordnung bei oszillierender Blitzspannung $\hat{U} = 1.138 \text{ kV} \approx 0,94 \hat{U}_{d50}$, Elektrodenabstand $s = 150 \text{ cm}$ und Frequenz $f = 200 \text{ kHz}$



Spannungsqualitätsmarkt – Konzeptionierung eines Marktes für Spannungsqualität unter technischen und ökonomischen Gesichtspunkten

M. Sc. Benjamin Jacobsen

Die Sicherstellung einer adäquaten Spannungsqualität ist eine der Kernaufgaben der Unternehmen, welche an der Lieferkette elektrischer Energie beteiligt sind. Durch eine zunehmende Umgestaltung der Erzeuger- und Verbraucherlandschaft mit einer steigenden Nichtlinearität wächst der Aufwand zur Einhaltung vorgegebener Parameter erheblich. Ein Beispiel hierfür ist der zusätzliche Aufwand für die Kompensation von Oberschwingungen, welche durch Wechselrichter regenerativer Erzeuger hervorgerufen werden können. Sowohl die Messung, wie auch die Koordination der Kompensation und Bereitstellung entsprechender Betriebsmittel zur Aufrechterhaltung der Spannungsqualität nimmt große Ressourcen der Netzbetreiber in Anspruch. Vor diesem Hintergrund kann für eine konsequente Entflechtung der Versorgungskette davon ausgegangen werden, dass neben einem Regelenergie- und Blindleistungsmarkt ein Markt für Spannungsqualität implementiert werden sollte. Bevor ein entsprechender Markt konzeptioniert werden kann, muss das gehandelte Gut, die Spannungsqualität besser quantifiziert werden können.

Unter Spannungsqualität ist die Gesamtheit der Parameter zu verstehen, welche die Versorgungsspannung beschreiben. Diese Abgrenzung stellt eine erste Herausforderung dieser Dissertation dar. Im englischsprachigen Raum wird unter dem Begriff der Power Quality in aller Regel eine zusätzliche Berücksichtigung der Versorgungszuverlässigkeit verstanden. Diese Auffassung wird eingegrenzt, somit werden die Parameter nach EN 50160 als Spannungsqualität im engeren Sinne zusammengefasst. Diese bekannte Klassifizierung der Parameter, kann nicht ohne weiteres als auf einem speziellen Markt zu handelndes Gut aufgefasst werden. Würde dies geschehen, entstünden Teilmärkte für verschiedene Parameter. Dieses Vorgehen wäre vor dem Hintergrund moderner Kompensationseinrichtungen ineffizient. Diese sind in der Regel in der Lage eine Vielzahl von Spannungsqualitätsparametern zu beeinflussen. Aus diesem Grund und zur Bereitstellung eines eindeutigen und handelbaren Gutes wird ein Spannungsqualitätsindex erstellt.

Auf dieser Grundlage wird ein Markt, ähnlichen dem für Regel- oder Blindleistung konzeptioniert. Dabei wird auf die Rollen der unterschiedlichen Akteure sowie deren Interaktionen eingegangen. Auf Basis möglicher Tarifmodelle kann die ökonomische Tragfähigkeit der Geschäftsmodelle von Unternehmen, welche sich auf den Spannungsqualitätsmarkt spezialisieren, abgeschätzt werden. Weiterhin wird auf den regulatorischen Anpassungsbedarf, welcher durch die Einführung eines Spannungsqualitätsmarkts entsteht, eingegangen.



Entwicklung einer intelligenten Ladesteuerung für Elektrofahrzeuge in einem Mobility-On-Demand-Konzept unter der Nutzung lokaler regenerativer Energien

Dipl.-Ing David Kühnert

Der Wandel des Mobilitätssektors ist aus wissenschaftlicher Sicht vor allem durch die Endlichkeit fossiler Ressourcen und der damit zusammenhängenden Nachhaltigkeit getrieben. Ein häufig gewähltes Maß zur Bewertung der Nachhaltigkeit sind die CO₂-Emissionen. Untersuchungen zeigen, dass Elektrofahrzeuge trotz ihrer höheren ökologischen Belastung bei der Herstellung nach wenigen Jahren bereits nachhaltiger sind, als konventionell angetriebene Fahrzeuge. Einen sehr wichtigen Einfluss hat dabei das Aufladen der Fahrzeuge. Die Elektrofahrzeuge sollten möglich ausschließlich oder zu einem sehr großen Teil mit Elektroenergie aus erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen geladen werden, ohne dabei zu einer erheblichen Mehrbelastung des Elektroenergiesystems und damit zu einem Netzausbau zu führen. Ziel des Dissertationsvorhabens ist es, eine intelligente Laderegulierung zu entwickeln um genau diese Punkte und den Mobilitätsbedarf der Fahrzeugnutzer zu verbinden. Es wurde Fokus auf die Steuerung der Ladezeitpunkte gelegt, was mit der Beschränkung der Mode-3-Kommunikation begründet ist. Das Hauptziel der Arbeit ist es die Ladezeitpunkte so zu optimieren, dass der Anteil erneuerbarer Energie in der Ladeenergie eines Fahrzeuges maximal ist.

Die Arbeit stellt Ansätze vor, welche zur Optimierung der Ladezeitpunkte untersucht werden. Das gesamte Problem lässt sich mit Hilfe eines Regelkreises beschreiben, dargestellt in Abbildung 2 Die bekannten Eingangsgrößen (grün dargestellt) sind 15-Minuten-Werte der Verteilnetzlast und erneuerbarer Energie, sowie der zu ladende Energiebedarf. Die Beschränkungen für die Regelung (rot dargestellt), sind die Ladeleistung (definiert durch Mode 3 und den technischen Limitationen des Fahrzeuges) sowie Mobilitätsbedarf. Die Stellgröße um die Ladung eines Elektrofahrzeuges zu beeinflussen ist der Ladezeitpunkt (blau dargestellt).

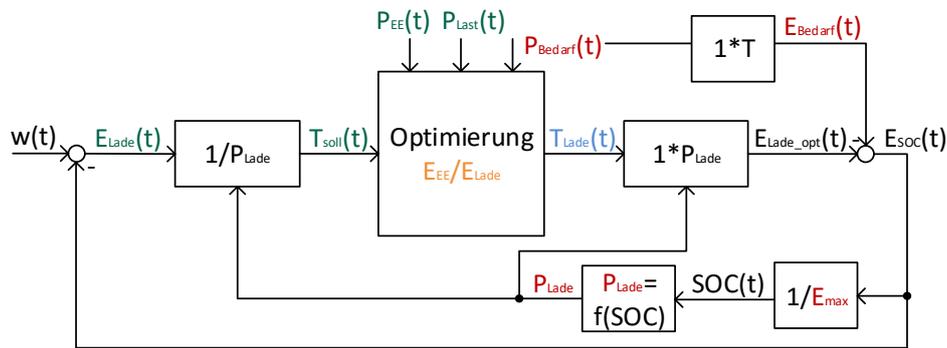


Abbildung 2 - Regelkreis zur Beschreibung einer Laderegung eines Elektrofahrzeuges aus energietechnischer Sicht

Ein Ansatz für eine Optimierung sind mathematischen Optimierungsalgorithmen welche mittels Schwarmintelligenz eine Vielzahl von Lösungen betrachteten. Das Problem von Optimierungsalgorithmen ist, dass eine definierte Zielgröße möglichst optimal erreicht werden soll. Eine Laderegung soll jedoch auch Ladezeitpunkte berücksichtigen, ohne dass ein Energiebedarf besteht, d.h. ohne dass eine Zielgröße definierbar ist. Setzt man den untersuchten Ameisenalgorithmus ein erhält man keine relevante Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energie in der Ladeenergie, weshalb der Ansatz angepasst wurde.

Der Ansatz der Priorisierung von Ladezeitpunkten gibt im Fall eines nicht vorhandenen Energiebedarfes einen Schwellwert für das Verhältnis aus erzeugter erneuerbarer Energie und Last des Verteilnetzes vor, welcher dynamisch anhand historischer Verhältnisse angepasst wird. Im Bedarfsfall werden die Verhältnisse von erzeugter erneuerbarer Energie und der Last des Verteilnetzes, um Prognosefehler zu berücksichtigen, mit Faktoren beaufschlagt. Es entsteht eine Rangfolge für Ladezeitpunkte, so dass an den besten benötigten Zeitpunkten geladen wird.

Der dritte Ansatz nutzt, wie bei einer klassischen Optimierung eine Gütefunktion. Die Gütefunktion G ist dabei durch Erfahrungen empirisch hergeleitet. Jede Einflussgröße kann mit einer separaten Teilgütefunktion berücksichtigt werden. In der Gütefunktion G wurden erneuerbare Energien, Verteilnetzlast und Ladezustand in separaten Teilgütefunktionen berücksichtigt. Die Wichtungsfaktoren und Exponenten wurden mittels Variantenvergleich und genetischer Optimierung bestimmt.

$$G = \frac{1}{A + B + C} \cdot \left(A \cdot \left(\frac{P_{EE}}{P_{EE_{max}}} \right)^a + B \cdot \left(1 - \left(\frac{P_{Last}}{P_{Last_{max}}} \right)^b \right) + C \cdot \left(1 - \left(\frac{E_{SOC}}{E_{SOC_{max}}} \right)^c \right) \right)$$

Ein weiterer Ansatz ist es, die Gütefunktion in einem Scheduling-Algorithmus zu verwenden, um die Ladezeitpunkte zu optimieren. Scheduling-Algorithmen werden vor allem in der Prozess- und Maschinenbelegungsplanung genutzt. Im Anwendungsfall der Ladesteuerung stellen die Einflussgrößen die verfügbaren Ressourcen dar. Durch die Transformation der Gütefunktion G in eine Zielfunktion kann an jedem Zeitschritt eine Optimierung innerhalb des Prognosezeitraumes erfolgen, auch ohne eine bestimmte Zielgröße. Hierfür müssen entsprechende Constrains definiert werden.

$$g = - \sum_{k=0}^n G(k) \cdot P(k)$$

Mit dem empirischen Ansatz und der Priorisierung von Ladezeitpunkten konnten sehr gute Verbesserungen des Anteils erneuerbarer Energie an der Ladeenergie erzielt werden. Der Scheduling-Algorithmus liefert bessere Ergebnisse, als bei einer ungesteuerten Ladung, aber schlechtere Ergebnisse als die anderen beiden Ansätze. Bei einem Zubau erneuerbarer Energieerzeugungsanlagen konnte eine gute Skalierung der Ansätze gezeigt werden. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1 - Ergebnisse der Laderegulung mit den entwickelten Ansätzen

	Anteil erneuerbarer Energie		
	2012	2013	2014
Ungesteuert	5,71 %	5,73 %	6,31 %
Empirischer Ansatz	17,33 %	18,38 %	22,17 %
Scheduling-Algorithmus	11,74 %	11,85 %	15,05 %
Priorisierung von Ladezeitpunkten	18,00 %	17,89 %	21,43 %



Identifizierung der dominanten Oberschwingungsquelle am Netzanschlusspunkt

M. Sc. Farhad Safargholi

Um die Oberschwingungsemissionen im Stromversorgungsnetz zu begrenzen und eine hohe Netzqualität zu gewährleisten, legen verschiedene nationale und internationale Normen spezifische Oberschwingungs-Emissionsgrenzwerte für Anschlussnehmer fest. Diese Emissionsgrenzwerte werden basierend auf dem anteiligen Planungspegel für jeden Anschlussnehmer ermittelt. Mit einem Ansatz zur Bestimmung des Oberschwingungs-Spannungsbeitrags von Anschlussnehmer kann direkt nachgewiesen werden, ob der Anschlussnehmer seinen anteiligen Planungspegel einhält. Daher können durch Ermittlung der Oberschwingungsbeiträge der Anschlussnehmerseite und Netzseite und somit der Identifizierung der dominanten Oberschwingungsquelle dabei helfen, die vordefinierten Planungspegel gemäß Normen eingehalten werden.

Das Oberschwingungsverhalten der Netz- sowie Anschlussnehmerseite am Netzanschlusspunkt wird beispielsweise durch ein Thevenin-Ersatzschaltbild, siehe Abbildung 1, nachgebildet. Unter Verwendung des Thevenin-Ersatzschaltbildes können drei folgende Kenngrößen zur Identifizierung der dominanten Oberschwingungsquelle am Netzanschlusspunkt definiert werden.

Die **Kenngröße der Oberschwingungs-Äquivalentsspannungen** $\underline{\rho}^{(\vartheta)\text{Th.}}$ beschreibt das Verhältnis der Äquivalentsspannungen der Netz- und Anschlussnehmerseite. Diese Kenngröße für Ordnungszahl ϑ wird wie folgt definiert (vgl. Abbildung 1):

$$\underline{\rho}^{(\vartheta)\text{Th.}} = \frac{U_{\text{Netz}}^{(\vartheta)}}{U_{\text{Ans.}}^{(\vartheta)}} \quad (1)$$

Aus dem Betrag dieser Kenngröße können folgende Aussagen getroffen werden:

- $\underline{\rho}^{(\vartheta)\text{Th.}} > 1$: Oberschwingungs-Äquivalentsspannung der Netzseite ist dominant,
- $\underline{\rho}^{(\vartheta)\text{Th.}} < 1$: Oberschwingungs-Äquivalentsspannung der Anschlussnehmerseite ist dominant,
- $\underline{\rho}^{(\vartheta)\text{Th.}} = 1$: Oberschwingungs-Äquivalentsspannungen der Netz- und Anschlussnehmerseite weisen den gleichen Betrag auf.

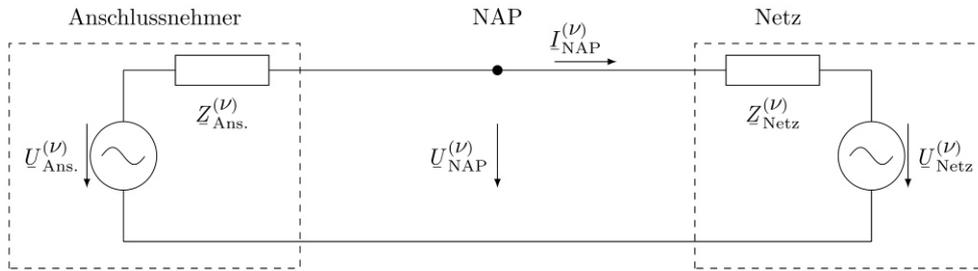


Abbildung 1: Thevenin-Ersatzschaltbild der Anschlussnehmer- und Netzseite zur Beschreibung der Kenngröße der Oberschwingungs-Äquivalentsspannungen.

Die **Kenngröße der Oberschwingungs-Strombeiträge** $\rho_{NAP}^{(\vartheta)Th.}$ beschreibt das Verhältnis der Oberschwingungs-Strombeiträge der Netz- und Anschlussnehmerseite am Netzananschlusspunkt. Diese Kenngröße für die Ordnungszahl ϑ wird wie folgt definiert (vgl. Abbildung 2):

$$\rho_{NAP}^{(\vartheta)Th.} = \frac{I_{NAP}^{(\vartheta)Netz}}{I_{NAP}^{(\vartheta)Ans.}} \quad (2)$$

Aus dem Betrag dieser Kenngröße können folgende Aussagen getroffen werden:

- $\rho_{NAP}^{(\vartheta)Th.} > 1$: das Netz liefert den überwiegenden Beitrag zum Oberschwingungsstrom am Netzananschlusspunkt,
- $\rho_{NAP}^{(\vartheta)Th.} < 1$: der Anschlussnehmer liefert den überwiegenden Beitrag zum Oberschwingungsstrom am Netzananschlusspunkt,
- $\rho_{NAP}^{(\vartheta)Th.} = 1$: das Netz und der Anschlussnehmer liefern in etwa den gleichen Beitrag zum Oberschwingungsstrom am Netzananschlusspunkt.

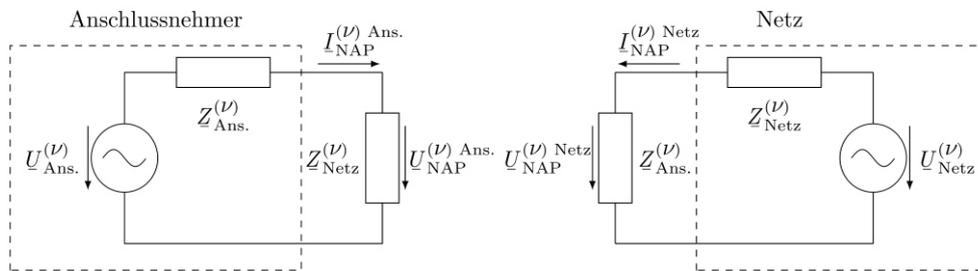


Abbildung 2: Thevenin-Ersatzschaltbild der Anschlussnehmer- und Netzseite zur Beschreibung der Kenngröße der Oberschwingungs-Strombeiträge.

Die **Kenngröße der Projektion von Oberschwingungs-Strombeiträgen** ($\rho_{Pr. NAP}^{(\vartheta)Th.}$) beschreibt das Verhältnis der Projektion von Strombeiträgen der Netz- und Anschlussnehmerseite

auf den Oberschwingungsstrom am Netzanschlusspunkt. Um die Beschreibung zu veranschaulichen, ist in Abbildung 3 ein beispielhaftes Vektordiagramm gezeigt. In dieser Abbildung ist der Oberschwingungsstrom am Netzanschlusspunkt als Summe von zwei Vektoren dargestellt ($\underline{I}_{\text{NAP}}^{(\vartheta)\text{Netz}}$ und $\underline{I}_{\text{NAP}}^{(\vartheta)\text{Ans.}}$). Diese Vektoren haben zwei Komponenten bezüglich des Oberschwingungsstrom am Netzanschlusspunkt ($\underline{I}_{\text{NAP}}^{(\vartheta)}$). Eines ist die Parallelkomponente zur Richtung $\underline{I}_{\text{NAP}}^{(\vartheta)}$. Die Parallelkomponente ($\underline{I}_{\text{Pr. NAP}}^{(\vartheta)\text{Netz}}$ und $\underline{I}_{\text{Pr. NAP}}^{(\vartheta)\text{Ans.}}$) werden auch als Projektion der Strombeiträge auf den Oberschwingungsstrom am Netzanschlusspunkt bezeichnet.

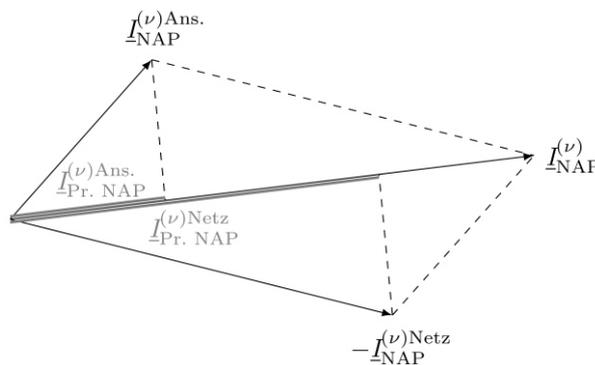


Abbildung 3: Beispielhaftes Vektordiagramm zur Beschreibung der Kenngröße der Projektion von Oberschwingungs-Strombeiträgen.

Die Kenngröße der Projektion von Oberschwingungs-Strombeiträgen für Ordnungszahl ϑ wird wie folgt definiert:

$$\rho_{\text{Pr. NAP}}^{(\vartheta)\text{Th.}} = \frac{\underline{I}_{\text{Pr. NAP}}^{(\vartheta)\text{Netz}}}{\underline{I}_{\text{Pr. NAP}}^{(\vartheta)\text{Ans.}}} \quad (3)$$

Es sei darauf hingewiesen, dass $\rho_{\text{Pr. NAP}}^{(\vartheta)\text{Th.}}$ nur eine skalare Größe ist, obwohl $\underline{I}_{\text{Pr. NAP}}^{(\vartheta)\text{Netz}}$ und $\underline{I}_{\text{Pr. NAP}}^{(\vartheta)\text{Ans.}}$ komplexe Größen sind. Dieser Sachverhalt ist dadurch begründet, dass $\underline{I}_{\text{Pr. NAP}}^{(\vartheta)\text{Netz}}$ und $\underline{I}_{\text{Pr. NAP}}^{(\vartheta)\text{Ans.}}$ immer den gleichen Phasenwinkel haben. Demzufolge ist der Phasenwinkel von $\rho_{\text{Pr. NAP}}^{(\vartheta)\text{Th.}}$ stets null, welcher die Differenz der Phasenwinkeln von $\underline{I}_{\text{Pr. NAP}}^{(\vartheta)\text{Netz}}$ und $\underline{I}_{\text{Pr. NAP}}^{(\vartheta)\text{Ans.}}$ entspricht.

Aus dem Betrag dieser Kenngröße können folgende Aussagen getroffen werden:

- $\rho_{\text{Pr. NAP}}^{(\vartheta)\text{Th.}}$: Oberschwingungs-Äquivalentsspannung der Netzseite ist dominant,
- $\rho_{\text{Pr. NAP}}^{(\vartheta)\text{Th.}}$: Oberschwingungs-Äquivalentsspannung der Anschlussnehmerseite ist dominant,
- $\rho_{\text{Pr. NAP}}^{(\vartheta)\text{Th.}}$: Oberschwingungs-Äquivalentsspannungen der Netz- und Anschlussnehmerseite weisen den gleichen Betrag auf.

5 Abgeschlossene wissenschaftliche Arbeiten

Auch im Jahr 2019 konnten an unserer Professur viele Studierende bei deren Studienabschluss positiv unterstützt und begleitet werden. Nachfolgend sind die Themen dieser Abschlussarbeiten aufgeführt. Detailliertere Informationen und Hinweise zu allen wissenschaftlichen Arbeiten können auf unserer Homepage eingesehen werden: <http://www.tu-chemnitz.de/etit/eneho/lehre/studentischearbeiten.php>

Wir wünschen allen Absolventen für Ihre Zukunft viel Zufriedenheit und großen Erfolg!

5.1 Masterarbeiten

Zur Frage, ob Versorgungszuverlässigkeit und variable Tarifmodelle als Anreiz zur Lastverschiebung durch umweltorientierte Produktionsplanung und zum Bezug bedarfsgerechter Spannungsqualität geeignet sind
Windenergieanlagen-Modellcharakteristik im Frequenzbereich mithilfe von Simulationen im Zeitbereich
Ansätze zur Geschäftsmodellentwicklung für die Energieversorgung von Industrieparks
Alarm Data Analytics with WPPM (Wind Power Plant Manager) SCADA
Abbildung eines Niederspannungsnetzes in DIgSILENT PowerFactory unter Berücksichtigung von tageszeitabhängigen Erzeugungs- und Verbrauchsschwankungen
Entwicklung eines Verfahrens zur Untersuchung von Lastverlagerungspotentialen mit Hilfe von evolutionären Algorithmen
Bewertung netzdienlicher Maßnahmen im Verteilnetz

5.2 Bachelorarbeiten

Untersuchung der Frequenzabhängigkeit des Entladungsverhaltens bei oszillierender Blitzspannung
Entwicklung einer Messschaltung zur Erfassung von Strömen im Femto-Ampere-Bereich
Bewertung verschiedener Energieressourcen mit Hilfe einer multikriteriellen Analyse
Zu technischen und ökonomischen Auswirkungen von Netzurückwirkungen im Mittelspannungsnetz
Klassifizierung von Mittelspannungs-Kabelmuffen verschiedener Hersteller mit relevanten Montagefehlern anhand charakteristischer Teilentladungsmerkmale

6 Veröffentlichungen und Konferenzbeiträge

Die im Jahr 2019 getätigten Veröffentlichungen und Konferenzbeiträge sind nachfolgend sowie auf unserer Homepage aufgeführt.

Born, B.; Günther, M.; Jacobsen, B.; Jähn, B.; Müller-Blumhagen, S.; Temmler, A.; Teuscher, J.: *ECoMobility – Connected E-Mobility. Vernetzte Elektromobilität am Beispiel der Technischen Universität Chemnitz.* Chemnitz, 2019: Universitätsverlag Chemnitz. ISBN 9783961000821

Domagk, M.; Meyer, J.; Mühlberg, M.; Ackermann, F.; Reichert, S. Meyer, M. F.; Kaatz, G.; Fricke, B.; Safargholi, F.; Vennegeerts, H.; Hoven, M.; Santjer, F.; Malekian, K.: *Impact of Renewable Generation on the harmonic distortion in distribution networks: Key Findings of the German research project NetzHarmonie.* 25th International Conference on Electricity Distribution (CIRED), Madrid, Spain, 2019.

Gürlek, A.; Shirvani A.; Hoshmeh, A.; Schufft, W.: *Discharge Process on Long Rod-Rod Electrodes Under Positive Lightning Impulse Voltage.* 21th International Symposium on High Voltage Engineering, Budapest, 2019. ISBN 978-3-030-31680-8

Gürlek, A.; Shirvani A.; Hoshmeh, A.; Schufft, W.: *Simulation, Generation and Measurement of Oscillated Lightning Impulse Voltage.* 21th International Symposium on High Voltage Engineering, Budapest, 2019. ISBN 978-3-030-31680-8

Jacob, L.: *Erweiterte Optimal Power Flow – Berechnung der Leistungsflüsse bei erzeuger- und verbraucherseitigen Flexibilitätspotentialen.* ETG Kongress 2019, Esslingen am Neckar, 2019.

Ziemann, L.; Edalati, O.; Rauch, J.; Mühlberg, M.; Klosse, R.; Prost, A. ; Hoven, M.; Vennergeerts, H.; Meyer, J.; Domagk, M.; Safargholi, F.; Malekian, K.; Santjer, F.: *Improved procedures for determining harmonics – findings of the German research project NetzHarmonie.* 18th Wind Integration Workshop, Dublin, 2019.

7 Externe Aktivitäten und Kontakte

7.1 Teilnahmen an Konferenzen, Tagungen, Kolloquien

Datum	Person	Veranstaltung	Ort
18.- 19.02.2019	Dr. J. Teuscher	VDE Forum Zellulares Energiesys- tem	Kassel
08.- 09.05.2019	L. Jacob	ETG-Kongress 2019	Esslingen
04.06.2019	B. Jacobsen	SAENA-Veranstaltung "Smart Meter in Kommunen"	Leipzig
26.- 30.08.2019	A. Gürlek	International Symposium on High Voltage Engineering	Budapest
03.09.2019	F. Safargholi	Workshop "Emission Limits and As- sessment of Disturbing Customer Installations (Discussion of prelimi- nary results of CIGRE/CIREC work- ing groups C4.40/C4.42)"	Dresden
26.- 27.11.2019	B. Jacobsen	FC ³ Fuel Cell Conference Chemnitz	Chemnitz
29.11.2019	K. Malekian, S. Taghipour, F. Safargholi	Workshop der Nachwuchsforscher- gruppe SaxoGRID - „Sicherer Betrieb von Verteilnetzen für erneuerbare Energien in Sachsen"	Dresden
05.12.2019	B. Jacobsen	Abschluss-symposium des WINNER Projektes	Chemnitz

7.2 Gäste an der Professur

Datum	Namen	Firma/ Institution
05.02.2019	U. Ehlert	Stäuble Energy Connectors
11.02.2019	Prof. V. Hinrichsen	TU Darmstadt Fachgebiet Hochspannungstechnik
14.02.2019	Dr. M. Kosse	Siemens AG Energy Management Divison
28.03.2019	Prof. F. Truckenmüller K. Hachimy	Hochschule Reutlingen
01.10.2019	Poser Marko	Spitzenberger & Spies GmbH & Co. KG
02.10.2019	H. M. Baum	EGSTON Power Electronics
08.11.2019	T. Roesch	OPAL-RT GERMANY GMBH

8 Höhepunkte

8.1 Lange Nacht der Wissenschaften am 04. Mai 2019

Am 04. Mai dieses Jahres wurde zum dritten Mal der Tag der Universität durchgeführt. Mit einem bunten Programm wurden die Türen der Universität für alle Interessierten geöffnet. Von 16 Uhr bis 1 Uhr nachts wurde dabei im Rahmen der Langen Nacht der Wissenschaften auch unser Hochspannungslabor gezeigt. Mit Führungen im 30-Minuten-Takt wurde die Laborführung zahlreich besucht. Wie vergangenen Jahr staunten mehr als 500 Interessierte u.a. über die Jakobsleiter, Gleitendladungen an einer Durchführung oder über den „Ionenwind-Motor“ und konnten Wissenswertes über unser aktuelles Elektroenergiesystem erfahren. Aufgrund der großen Nachfrage wird es 2020 wahrscheinlich ebenfalls wieder zu einer solchen Veranstaltung kommen.



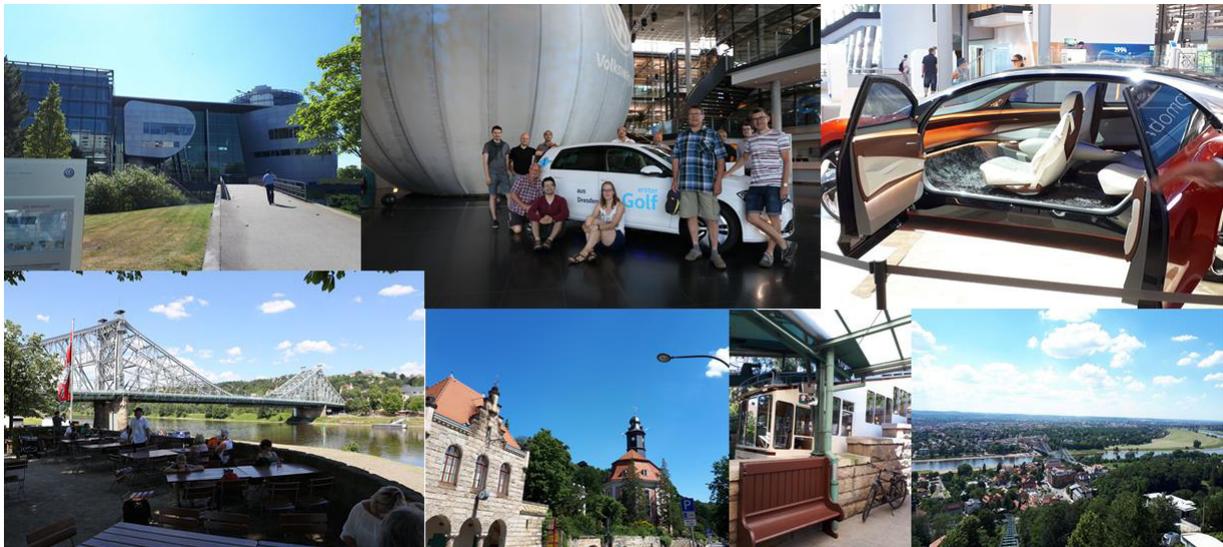
8.2 Fachexkursion zur „Gläserne Manufaktur“ in Dresden am 18. Juni 2019

Wie schon in den vorangegangenen Jahren, haben wir natürlich auch in diesem Jahr eine Fachexkursion der Professur organisieren können. Diesmal führte sie uns in die Landeshauptstadt Dresden in die „Gläserne Manufaktur“. Die Gläserne Manufaktur ist eine von drei Produktionsstätten der Volkswagen Sachsen GmbH. Im Zeitraum 2002 bis 2016 wurde für den VW-Konzern der Premiumwagen Phaeton produziert. Seit dem April 2017 wird an diesem Standort der vollelektrische e-Golf zusammengebaut. Weiterhin entwickelt sich die „Gläserne Manufaktur“ zum Center of Future Mobility.

Unter Führung eines „Guides“ wurden wir gleich an die richtigen Stellen geführt, um uns ein umfassendes Bild zur Produktion des e-Golfs machen zu können. Auch die vielen Fragen unsererseits zum Thema e-Golf wurden ausnahmslos und sehr kompetent beantwortet.

Im Anschluss fuhren wir mit der Straßenbahn Richtung „Blaues Wunder“ und konnten im „Schillergarten“ lecker essen und trinken. Bestens gestärkt überquerten wir die Elbe in Richtung Schwebebahn. Trotz der Temperaturen von über 30 Grad hatte sich die Fahrt bis zur Aussichtsplattform mehr als gelohnt. Denn wir wurden mit einem traumhaften Panoramablick über die wunderschöne Stadt Dresden mehr als belohnt!

Auch diese Exkursion wird mit Sicherheit wieder für lange Zeit in bester Erinnerung bleiben.

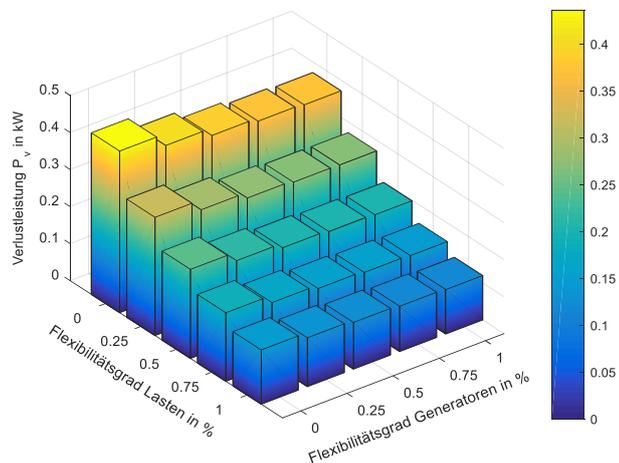


8.3 Erfolgreicher Abschluss des ESF-geförderten Projektes SyNERgIt am 31. Juni 2019

Die Laufzeit des Projektes „SyNERgIt - Synergetische Nutzung von Energie- und Informationstechnik“ der Technischen Universität Chemnitz endete zum 31. Juni 2019. Das Team präsentierte zu diesem Anlass im Alten Heizhaus der TU Chemnitz im Rahmen eines Abschluss-symposiums ausgewählte Projektinhalte und Ergebnisse. Zusätzlich gaben externe Referentinnen und Referenten Einblicke in universitätsexterne Forschungs- und Praxisprojekte.

Das Projekt „SyNERgIt“ wurde durch den Europäischen Sozialfonds (ESF) gefördert. Das Projekt verfolgte das Ziel, vor dem Hintergrund der Energiewende und dem damit verbundenen höheren Anteil der erneuerbaren Energien einen Ansatz zum Ausgleich regionaler Energieangebots- und -nachfrageunterschiede durch zeitliche und räumliche Beeinflussung des Energieverbrauchs von Datenzentren zu entwickeln. Insgesamt vier Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler forschten daran seit 2016.

In den Arbeitspaketen der Professur für Energie- und Hochspannungstechnik wurde hierbei besonders die große Herausforderung untersucht die Erzeugung und den Verbrauch zeitlich in Einklang zu bringen, um einen maximal möglichen Ertrag aus den regenerativen Energien zu erreichen. Ein viel diskutierter Ansatz ist der Einsatz von flexiblen Verbrauchern, welche vorwiegend in Verteilnetzen eingebunden werden sollen. Der aktuellen Netzbetriebsführung sind dabei jedoch Grenzen vorgegeben. Neben regulatorischen und ökonomischen Herausforderungen ist zudem der Netzbetrieb auf Basis der Leistungsflussberechnung und der Optimal Power Flow – Berechnung zu nennen. Durch Erweiterung des Optimal Power Flow-Problems durch zusätzliche Randbedingungen bezüglich der Verbraucher wurde ein Lösungsansatz zur Abbildung und Berechnung des zukünftigen Netzbetriebs entwickelt. Ein Beispiel für die Anwendung ist die Nachbildung der verlustminimierten Leistungsflüsse im Netz als Sonderform der Kostenminimierung.



8.4 Schnelle Zeiten beim Chemnitzer Firmenlauf am 04. September 2019

Am 04. September 2019 fand die 14. Auflage des Firmenlaufes in Chemnitz statt. Über 9.000 Läuferinnen und Läufer absolvierten die 4,8 km lange Strecke rund um den Schlossteich im Stadtzentrum. 150 Teilnehmer starteten für die TU Chemnitz, darunter vertraten Dr. Jens Teuscher und Philipp Spindler die Professur Energie- und Hochspannungstechnik. Beide konnten den Lauf zufrieden mit Zeiten von knapp über 18 Minuten beenden und damit die Platzierungen 116 und 108 belegen.



8.5 Promotionsverteidigung Dr. Reik Liebmann 21. September 2019

„Konzeption eines Modells für die Erneuerung von regulierten Verteilnetzen unter Berücksichtigung von komplementären und konkurrierenden Zielen der Investition und Instandhaltung“

Gutachter: Prof. Dr. Uwe Götze
Prof. Dr. Ludwig Gramlich
Beisitzer: Prof. Dr. Mario Geißler

In seiner Dissertation beschäftigte sich Herr Dr. Liebmann mit der staatlichen Regulierung, welche einen bedeutenden Einflussfaktor für die Verteilnetzbetreiber darstellt, die durch die natürliche Monopolstellung der Verteilnetzbetreiber begründet ist. Aus den unterschiedlichen Anforderungen der internen und externen Anspruchsgruppen leiten sich verschiedene Ziele ab, deren Erreichung durch den Verteilnetzbetreiber angestrebt wird. Zwischen diesen Zielen können sowohl komplementäre als auch konkurrierende Zielbeziehungen vorliegen. Eine wesentliche Einflussmöglichkeit zur Erreichung dieser Ziele stellen die im Zuge der Netzerneuerung auszuwählenden Investitions- und Instandhaltungsmaßnahmen dar. Durch den Verteilnetzbetreiber ist im Rahmen des Planungsprozesses diejenige Investitions- und Instandhaltungsstrategie festzulegen, deren Umsetzung einen möglichst hohen Beitrag zur Erreichung der Unternehmensziele leistet. Zur Unterstützung der Entscheidung über die auszuwählende Investitions- und Instandhaltungsstrategie wurde im Rahmen der Dissertation von Herrn Dr. Liebmann ein Modell zur Erneuerung von Verteilnetzen konzipiert. Durch Anwendung dieses Modells wurde es Verteilnetzbetreibern ermöglicht, unter Berücksichtigung der Interessen der internen und externen Anspruchsgruppen die Investitions- und Instandhaltungsstrategie zu wählen, mit der die vorliegenden Unternehmensziele bestmöglich erreicht werden können.



Wir gratulieren Herrn Dr. Liebmann herzlich und wünschen ihm eine glückliche und erfolgreiche Zukunft!

8.6 Weihnachtsfeier am 4. Dezember 2019

In alter Tradition trafen wir uns zum Abschluss dieses erfolgreichen Jahres in der Vorweihnachtszeit zur Weihnachtsfeier. In diesem Jahr mussten wir gänzlich auf die winterliche Stimmung verzichten, was den niedrigen Temperaturen und dem somit zugefrorenen See vor dem Lokal zu verdanken war. Die „Pelzmühle“ unterstrich die winterlich-vorweihnachtliche Stimmung durch mit zur Jahreszeit passender Dekoration und sorgte so für eine schöne Stimmung bei gemütlichem Beisammensein. So entwickelten sich im Laufe des Abends interessante, auch fachfremde Gespräche unter allen Kollegen und Ehrengästen der Professur. Für das weibliche Wohl war bei Spezialitäten aus dem Wald und von der Wiese reichlich gesorgt. So blicken wir auch 2019 auf einen schönen Abend zurück, der allen mit Freude in Erinnerung bleiben wird.



9 Ausstattung für Praktika und Prüfungen in der Hochspannungstechnik

Prüfsystem zur Erzeugung von Gleich-, Wechsel- und Stoßspannungen bis 100 kV



Praktikumsversuche:

- *Funkenstrecken*
- *Erzeugung und Messung hoher Gleich- und Wechselspannungen*

Prüfsystem zur Erzeugung von Wechselspannungen bis 200 kV



Praktikumsversuch:

- *Isolatoren*

Geschirmte Messkabine zur Teilentladungs- und Verlustfaktormessung

Praktikumsversuch:

- *Verlustfaktormessung ($\tan \delta$)*

Stoßspannungsgenerator zur Erzeugung von Blitzstoß- und Schaltstoßspannungen bis 600 kV

Praktikumsversuch:

- *Erzeugen von Stoßspannungen / Einfluss der Elemente des Stoßspannungsgenerators*

Wechselspannungs-Prüfsystem zur Erzeugung von Wechselspannungen bis 200 kV



Mobiles Resonanzprüfsystem zur Teilentladungs- und Verlustfaktormessung und Spannungsprüfung



10 Laborausstattung

Verfügbare Hardware

Hochspannungsprüfung

Wechselspannung	$U_{\max} = 200 \text{ kV}$
Gleichspannung	$U_{\max} = 140 \text{ kV}$
Stoßspannung	$U_{\max} = 600 \text{ kV}$

Trennverstärker

Lichtwellenleiter-Isolier-Messsystem HERO® LINK LWL-DC-15 MHz für Messungen auf Mittelspannungspotential

Vor-Ort-Resonanzprüfsystem

Prüfspannung bis 36 kV, Prüfstrom bis 10 A
Frequenzbereich 25 - 300 Hz

Transienten-Mess-System für Impulsspannungsmessung

TR-AS 100/12, 100 Megasample pro s, 12 bit
TR-AS 100/8 100 Megasample pro s, 8 bit
umfangreiche Auswerte- und Protokollsoftware

Digitales Kapazitäts- und Verlustfaktormesssystem MI 600 (Omicron)

Auflösung $\tan \delta$ bis 10^{-8}
Messbereich Kapazität 0,1 pF - 5 μF
Frequenzbereich 5 Hz - 50 kHz

Verlustfaktormessung DIRANA – Dielectric Response Analyser (Omicron)

Frequenzbereichsspektroskopie (FDS)
Messung von Polarisations-/Depolarisationsströmen (PDC)

Digitales Teilentladungsmess- und Diagnosesystem MPD 600 (Omicron)

TE-Messbereich 1 - 10^5 pC
obere Grenzfrequenz 30 MHz

TE-Fehlstellenortung mit MPD 600 (Omicron)

Abtastrate bis 250 Megasample pro s
Ortungsgenauigkeit bis 0,2 % der Kabellänge

Kabeldiagnosesystem CDS

dreiphasige IRC-Analyse an PE- und VPE-Kabeln
dreiphasige RVM-Analyse an Papier-Masse-Kabeln

Transportables Hochspannungsnetzgerät 6,5 kV/ 0,02 A

Blitzspannungsprüfeinrichtung SIP 010, transportabel

Wechselspannung bis 5 kV
Stoßspannung 1,2/50 µs bis 10 kV

Spannungsmessteiler

Ohm'sche Teiler bis 200 kV
Kapazitive Teiler bis 300 kV
Stoßspannungsteiler bis 600 kV (1,2/50 µs)

Mikrotom - Schneidgerät für Untersuchung von Wasserbäumchen (water trees) an PE-KabelnTransienten Recorder DEWE-3020

8-Kanal Recorder und 8 Kanäle Erweiterung
Abtastrate 200 KSa/s
Auflösung 24 bit

Transienten Recorder YOKOGAWA DL 708

8-Kanal Scope Recorder
Abtastrate bis 10 MSa/s
Auflösung 10 bit

Digitalspeicher Oszilloskope YOKOGAWA DL9040L und Rohde & Schwarz RTM2054

4 Kanäle
Abtastrate bis 5 GSa/s
Bandbreite 500 MHz
Auflösung 8 bit / 16 bit im High-Resolution Mode

Datenlogger DA 100 (YOKOGAWA) mit 10 Kanälen

kürzestes Messintervall: 2 s
Speichertiefe: nur begrenzt durch Festplatte des Logger-PC

Lichtmikroskop mit Rechneranschluss und VideoeinrichtungMagnetfeldmesseinrichtung mit Rechneranschluss bis 10 kHzDosisleistungsmessgerät FH 40 G (Eberline Instruments)

Messgröße: Photonendosisleistung
Messbereich: 0,1 µSv/h - 0,99 Sv/h
Dosismessbereich: 100 nSv - 10 Sv

EM-Feldanalysator EFA-2 (Wandel & Goltermann)

Frequenzbereich 1: 5 Hz ... 2 kHz
Frequenzbereich 2: 5 Hz ... 30 kHz

Messbereich: 100 nT, 1 μ T, 10 μ T, 100 μ T, 1 mT, 10 mT
(automatische Messbereichswahl)

Strahlungsmessgerät EMR-20 (Wandel & Goltermann) für isotrope Messung elektrischer Felder

Frequenzbereich: 100 kHz ... 3 GHz
Messprinzip: digitale dreiachsige Messung
Spezifizierter Messbereich: 1 ... 800 V/m
Anzeigeauflösung: 0,01 V/m

Hochstromaggregat ODEN

1000A/ 2,5V TAP 2,5 (Wandlerprüfung)

Gleichspannungsnetzgerät Toellner 8872

40V/ 100A

Verfügbare Software

MATLAB

Programmpaket zur Analyse von Daten, Durchführung von Simulationen und Programmierung.

ATP/EMTP

Simulation dynamischer und transienter Netzvorgänge der Energieversorgung.

EMTDC/PSCAD

Simulation dynamischer und transienter Netzvorgänge mit leistungselektronischen Betriebsmitteln in Elektroenergiesystemen.

DIgSILENT „POWERFACTORY 2019“ und Elektra 3.98

Stationäre Berechnung und Simulation von Lastflüssen und Kurzschlüssen in elektrischen Netzen.

FlexPro 10

Konvertierung, Bearbeitung und Analyse von Messwertdatensätzen.

VIG 2011

Virtueller Impulsgenerator zur Simulation von Stoßspannungsimpulsen im Internet unter:
<http://www.tu-chemnitz.de/etit/eneho/service/vig/vig2011/index.php?c=vig2011>

11 Dienstleistungsangebote

11.1 Dielektrische Prüfungen

- Wechsellspannungsprüfungen bis 200 kV
- Stoßspannungsprüfungen bis 600 kV
- Gleichspannungsprüfungen bis 140 kV
- FGH-Stufentest an Mittelspannungskabeln bis 150 kV
- Vor-Ort-Spannungsprüfungen an Mittelspannungskabeln und anderen kapazitiven Prüfobjekten mit einem mobilen Resonanzprüfsystem

11.2 Diagnosemöglichkeiten

- Verlustfaktormessungen mit unterschiedlichen Messprinzipien im Labor
- Verlustfaktormessungen Vor-Ort mit einem mobilen Resonanzprüfsystem
- Teilentladungsmessungen mit unterschiedlichen Messprinzipien im Labor
- Verlustfaktormessung Vor-Ort mit einem mobilen Resonanzprüfsystem
- Isotherme Relaxationsstrom-Analyse (IRC) an Energiekabeln
- Messungen von Isolations- und Ableitwiderständen

11.3 Prüfung der Stromtragfähigkeit

Widerstandsmessungen von Hauptstrombahnen

Hochstromprüfungen, Erwärmungsprüfungen bis 2.000 A (größere Ströme auf Anfrage) für:

- Leiteranordnungen
- Geräte
- Schaltfelder

11.4 Spezielle Messaufgaben

- Messung magn. Felder (5 Hz bis 30 kHz [3 dB]; MB: 100 nT, 1 μ T, 10 μ T, 100 μ T, 1 mT, 10 mT)
- Messung elektrischer Felder (100 kHz bis 3 GHz; MB: 1 bis 800 V/m – 0,0027 bis 1700 W/m²)
- Messung elektromagnetischer Felder
- Messungen mit Isoliermessverstärkern
- Mikroschnitte von PE-Kabeln zum Nachweis von Wasserbäumchen (water trees)

11.5 Virtueller Stoßspannungsgenerator

Zur Simulation des Einflusses der Elemente des Stoßkreises auf den Spannungsverlauf.
<http://www.tu-chemnitz.de/etit/eneho/service/vig/vig2011/index.php?c=vig2011>

11.6 Netzanalysen

- Lastfluss-, Lastgang- und Leitungsfehlerberechnung in Energieübertragungs- und Verteilnetzen
- Netzverlustanalysen
- Versorgungszuverlässigkeit
- Netzoptimierung
- Oberschwingungsanalysen an Netzanschlusspunkten des Übertragungsnetzes
- Berechnungen von transienten Vorgängen

12 Referenzen

Labor- und Vor-Ort-Kabeldiagnose (TE-Messung, TE-Ortung, Spannungsprüfung, Verlustfaktormessung)

- inetz GmbH, Chemnitz
- Stadtwerke Leipzig GmbH
- ENSO Netz, Dresden
- MITNETZ Strom GmbH, Halle/Saale
- Städtische Werke Magdeburg GmbH & Co. KG
- Stadtwerke Schwabach GmbH
- Basler Sachversicherungs- AG, Basel

Netzanalyse, Versorgungszuverlässigkeit

- eins energie in sachsen GmbH & Co. KG
- TOTAL Raffinerie Mitteldeutschland GmbH. Leuna

Betriebsmitteldatenbank

- TOTAL Raffinerie Mitteldeutschland GmbH, Leuna

Netzverluste

- eins energie in sachsen GmbH & Co. KG, Chemnitz
- Stadtwerke Annaberg-Buchholz Energie AG

Prognosen zum Elektroenergiebedarf und Spitzenleistungen einzelner Umspannwerke

- eins energie in sachsen GmbH & Co. KG, Chemnitz

Erstellung von Lastprofilen Strom/ Gas

- eins energie in sachsen GmbH & Co. KG, Chemnitz

Bewertung von Investitionsstrategien in der Elektroenergieversorgung

- ENSO Netz, Dresden

Isolationsprüfung, Stufentest

- Kabelwerk Meißen

FGH-Stufentest an Mittelspannungskabeln

- Stadtwerke Rostock

Temperaturbeständigkeit von Isolieranordnungen

- Kabelwerk Meißen

Berechnung maximaler Leitungsbelastung

- SPIE SAG Montagegesellschaft mbH, Chemnitz

Kurzschlussstromprüfung Schutzwiderstand

- Türk und Hillinger. Limbach-Oberfrohna

TE-Messung im Labor

- VEM motors Thurm GmbH
- eviro Elektromaschinenbau & Metall GmbH, Eibenstock

Dimensionierung Überspannungsschutz

- AREVA, Dresden

Bewertung transienter Ausgleichsvorgänge in Elektroenergiesystemen

- KEMA-IEV, Dresden
- AREVA, Dresden

Spannungsprüfung

- Elektrotechnische Geräte Böhlitz-Ehrenberg GmbH, Leipzig

Erstellung von Energiekonzepten zur Visualisierung der Auswirkungen von Potentialrealisierungen Erneuerbarer Energien in einem abgegrenzten Bilanzraum

- Landkreis Vogtland, Plauen

Untersuchungen der Auswirkungen der Verarmung von Masse bei Öl-Papier-Kabel

- inetz GmbH, Chemnitz

Entwicklung von Speicherkonzepten im Bereich von 1 bis 10 MW

- eins energie in sachsen GmbH & Co. KG, Chemnitz

Analyse von Nutzungskonzepten für energienahe Dienstleistungen

- eins energie in sachsen GmbH & Co. KG, Chemnitz

Definition der anteiligen Planungspegel für Oberschwingungen in Offshore-Netzen

- TenneT Offshore GmbH, Bayreuth

Untersuchung der Resonanzstellen und Störungsanalyse für das Netzanschlussssystem Bor-Win1 inklusive des Offshore-Netzes (OWP BARD und Global Tech I)

- TenneT Offshore GmbH, Bayreuth

Erweiterung des D- und D0-Schmelzsicherungssystems

- NH/HH Recycling e.V., Stamsried

Erstellung von Zielkonzepten für eine Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge

- eins energie in sachsen GmbH & Co. KG, Chemnitz

Analyse des Potenzials von Kühlhäusern für Demand Side Management

- Hörburger AG, Neukirchen

Analyse des Potenzials der Solarenergie zur Versorgung einer Schwimmhalle

- Stadtwerke Annaberg-Buchholz Energie AG

Untersuchung von elektrischen Gleichstromlichtbögen

- Mahle GmbH, Stuttgart

Untersuchungen an Flachsteckkontakten

- Mahle GmbH, Stuttgart
- Dometic GmbH, Siegen

Analyse des Schaltverhaltens von LED-Straßenbeleuchtung und der resultierenden Netzrückwirkungen

- inetz GmbH, Chemnitz

Labormessungen an MS-Kabelmuffen

- MITNETZ Strom GmbH, Halle/Saale
- inetz GmbH, Chemnitz



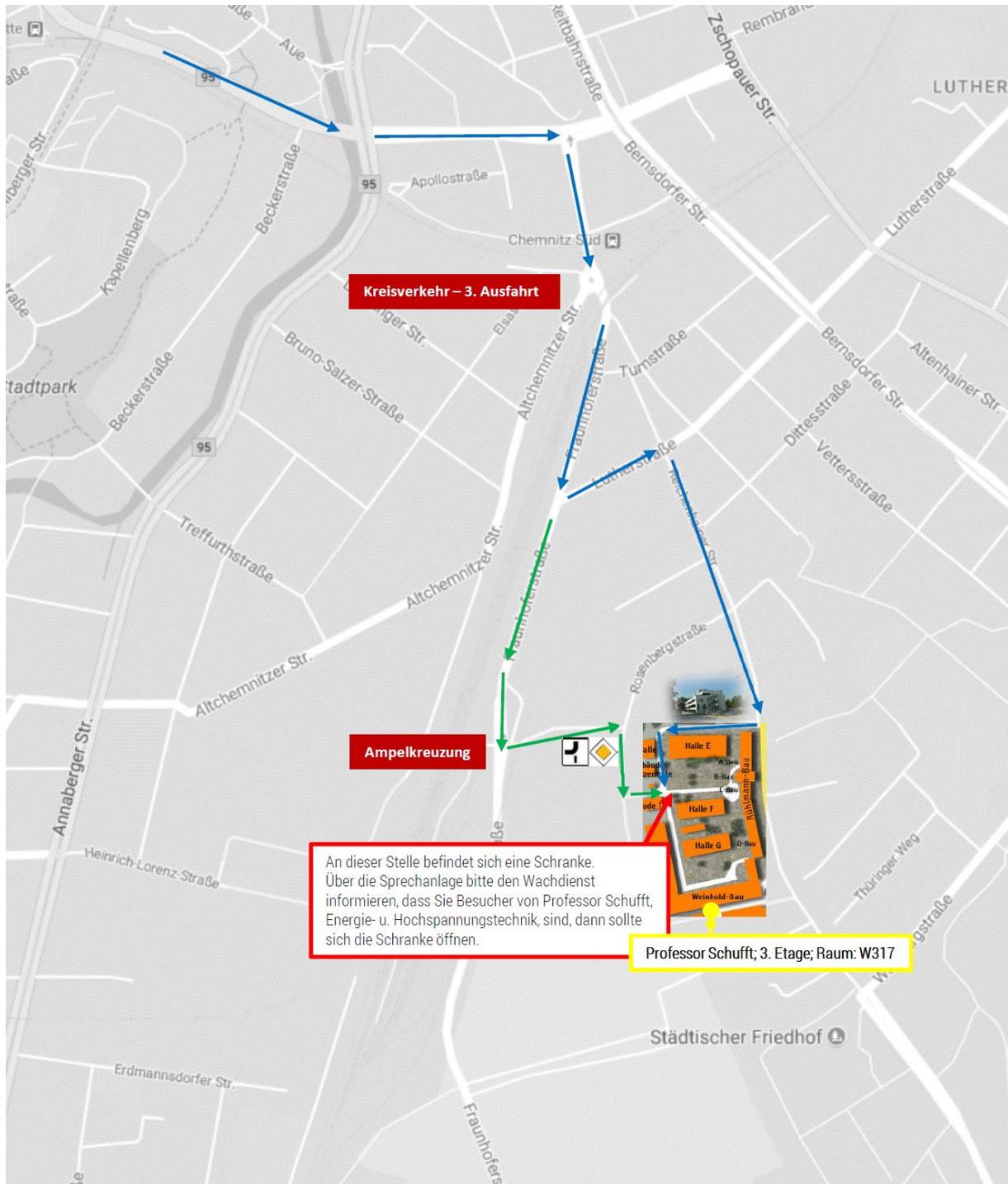
Teilgebiete		Elektrische Energietechnik			Hochspannungstechnik		
Inhalt	Regenerative Energiequellen	Energie-management	Elektroenergiesysteme	Beanspruchung von Betriebsmitteln	Überspannungen u. Isolationskoordination	Geräte- und Isoliertechnik	
Semester							
Modularisierte Bachelor-Master-Studiengänge	3.						
	4.						
	5.					Hochspannungstechnik 3 1 2	
	6.			Elektroenergieübertragung und -verteilung 3 1 2			
					Netze und Betriebsmittel 2 1 0		
				Bachelorarbeit			
Master-Studiengang Energie- und Automatisierungssysteme							
Ergänzungs-modul (Pflicht, Wahlpflicht, Wahl)	7.				Beanspruchung von Betriebsmitteln 3 1 1		
			Elektroenergiewirtschaft 1 0 0				
	8.				Netzberechnung und Schutztechnik 1 1 0	Statistik und Isolationskoordination 2 1 0	
						Diagnose- und Messtechnik 2 0 0	
9.					Praktikum		
10.					Masterarbeit		
Forschungsschwerpunkte							
Analyse von Netzen und Betriebsmitteln					Zustandsbewertung und Asset-Management		
					Oberschwingungsverhalten regenerativer Erzeugungsanlagen / Ausgleichsvorgänge im Elektroenergiesystem		
					Netzanbindung leistungsstarker Windparks		
					Netzintegration der Elektromobilität	Isolationskoordination	
					Modellierung zukünftiger Niederspannungsnetze		
Dezentrale Energiesysteme					Speichersysteme für eine nachhaltige Energieversorgung		
					Probabilistische Netzplanung		
Netzbaustراتيجien							
Anspruch: Kompetenzzentrum für aktuelle Fragestellungen der Elektroenergieversorgung							

Anfahrtsskizze:

Über Autobahnkreuz Chemnitz Süd – B173 – B169



Über Autobahnkreuz Chemnitz-Mitte A4 – B95



Weiterhin ist die Professur mit der neuen Straßenbahnlinie 3 zu erreichen. Diese verbindet den Hauptbahnhof mit dem Universitätsstandort Straße der Nationen (Haltestelle Theaterstraße) sowie mit dem Universitätsstandort Reichenhainer Straße (Haltestelle TU Campus).

Notizen

Notizen