



Technische
Universität
Braunschweig



Jubiläumsband 100 Jahre elenia

elenia Institut für Hochspannungstechnik
und Energiesysteme

Mit Jahresbericht 2024/2025





BS|NETZ

BS|ENERGY Gruppe

Gemeinsam halten wir die Region unter Strom.

Im Labor und in der Praxis. In diesem Jahr feiert BS|NETZ 125 Jahre Stromnetz für Braunschweig, während das elenia auf 100 Jahre Forschungsarbeit zurückblickt. Herzlichen Glückwunsch!



*Mehr Infos zu unserem Jubiläum
unter www.bs-netz.de*

Ein Unternehmen von  **VEOLIA**

Jubiläumsband 100 Jahre elenia

**elenia Institut für Hochspannungstechnik
und Energiesysteme**

Mit Jahresbericht 2024/2025



100
Jahre

Herzlichen Glückwunsch! zu einhundert erfolgreichen Jahren!

**E-T-A Elektrotechnische Apparate GmbH gratuliert dem
Institut für Hochspannungstechnik und Energiesysteme –
elenia zum 100-jährigen Jubiläum!**

Wir schätzen die spannende Zusammenarbeit mit elenia,
einem wertvollen Partner in der Entwicklung und Forschung
im Bereich Niederspannungsschaltgeräte.

Wir freuen uns auch weiterhin auf eine tolle Kooperation und
gemeinsame Projekte. Wie beispielsweise „NHybSi-DC“ auf
dem Weg zu einem nachhaltigen und schnellen Hybridschal-
ter für sichere DC-Netze.

We are social! Find us.



Liebe Leserschaft

In diesem Jahr feiert unser Institut sein 100-jähriges Bestehen. Zu diesem Anlass legen wir Ihnen diesen Jubiläumsband vor und begrüßen Sie herzlich zu unserer Festveranstaltung am 1. und 2. Oktober 2025.

Im Jubiläumsband finden Sie auch einen Beitrag zur Institutsgeschichte, der dankenswerter Weise vom Institut für Geschichtswissenschaft und dem Universitätsarchiv in Interviews und Workshops erarbeitet wurde.

In den 1920er-Jahren galt die Hochspannungstechnik als High-Tech-Disziplin par excellence – vergleichbar mit dem heutigen Hype um Digitalisierung, Data Science und Künstliche Intelligenz. Im Jahr 1924 begann der Bau der ersten 220-Kilovolt-Höchstspannungsleitung, die die Braunkohle-Region Rheinland mit den Wasserkraftwerken des Voralpenraums verband. Im darauffolgenden Jahr 1925 wurde daher ein spezialisiertes Institut gegründet, um Forschung, Lehre und industrielle Anwendung dieser Schlüsseltechnologie zu bündeln. Lag der Fokus in den frühen Jahren zunächst auf dem Ausbau der Drehstrom-Übertragungsnetze, so führte das Institut in der Zeit des Nationalsozialismus erste Versuche mit Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) für den Langstreckentransport über Erdkabel durch.

Der Wiederaufbau und die Befriedigung des schnell steigenden Energiebedarfs bestimmten die Forschung im Bereich der Hochspannungsisolierstoff- und Schaltanlagentechnik. Die großen Studierendenzahlen in den 70er und 80er Jahren, als die Babyboomer an die Universitäten drängten, mussten bewältigt werden. In dieser Phase stand die Forschung im Zeichen der Konsolidierung der Netze und Weiterentwicklung der Technologien sowie des weltweiten Exports.

Mit dem Ende des Kalten Krieges und der Wiedervereinigung intensivierte sich die Ost-West-Kooperation von Forschenden und Lehrenden. Später führte die sich langsam durchsetzende Erkenntnis, dass der Klimawandel eine Transformation des Energiesystems erforderlich macht, zu einem hohen Forschungs- und Lehrbedarf zur Umsetzung der Energie- und Mobili-

tätswende. Die Zeitenwende konfrontiert uns aktuell mit dem Spannungsfeld von Internationalisierung und Forschungssicherheit. Resilienz wird ein zunehmend wichtigeres Kriterium.

Heute konzentriert sich die Arbeit auf neue Materialien für Speicher und Schaltgeräte, Netzintegration von Solar-, Windkraft- und Elektrolyse-Anlagen, Elektromobilität sowie Gleichstromtechnik – stets in Mitwirkung in nationalen und internationalen Gremien wie VDE ETG, FNN, DKE, IS-DEIV, Current Zero Club, CIGRE und IEC.

Unsere Erfolge sind das Ergebnis jahrzehntelanger, engagierter Teamarbeit: Forscherinnen und Forscher, Lehrende wie Mitarbeitende in Technik und Verwaltung, Ehemalige, Projektpartner und Förderinstitutionen haben gemeinsam die Energietechnik und unsere Fachdisziplin entscheidend geprägt.

Gleichzeitig stehen wir erneut vor tiefgreifenden Umbrüchen – von politischen Weichenstellungen für den Klima- und Transformationsfonds bis hin zu Fragen der Forschungssicherheit in einer globalisierten Welt.

Die TU-Ethikkommission und die BMBF-Arbeitsgruppe Forschungssicherheit (Michael Kurrat) sind wichtige Foren, um diese Herausforderungen konstruktiv zu diskutieren.

Die Rückgänge bei Studienanfängerzahlen in den Ingenieurwissenschaften erfordern attraktive Lehr- und Betreuungskonzepte (Studiendekan Bernd Engel), Mentoring-Programme und Kooperationen mit dem Haus der Wissenschaft.

Mit diesem Jubiläumsband legen wir zugleich Rechenschaft über unsere Forschungsarbeiten und Mittelverwendung ab. Unsere Drittmittelquote konnte durch zahlreiche innovative Projekte weiter gesteigert werden. Die Institutsgröße hat mit aktuell 70 Mitarbeitenden einen neuen Höchststand erreicht.

Wir danken allen Kolleginnen und Kollegen, der TU, unseren Industrie- und Forschungspartnern, Lehrbeauftragten, der DFG, den Projektträgern, den Bundes- und Landesministerien und der PTB für die jahrzehntelange vertrauensvolle Zusammenarbeit.

Der Höhepunkt des Jahres wird unsere Festveranstaltung zum 100-jährigen Bestehen. Wir freuen uns auf inspirierende Vorträge, persönliche Begegnungen und spannende Rückblicke – und darauf, gemeinsam mit Ihnen von den Erfahrungen der Vergangenheit zu profitieren und in die Zukunft zu blicken.

Viel Vergnügen beim Durchblättern dieses Bandes – und für die kommenden Jahre wünschen wir Ihnen alles Gute, viel Erfolg und vor allem Gesundheit!

Ihr Team des elenia Instituts für Hochspannungstechnik und Energiesysteme

Michael Kurrat, Bernd Engel

BRAUNSCHWEIG, IM OKTOBER 2025



Michael Kurrat



Bernd Engel

Wir sind das elenia

Jahresrückblicke 2024 und 2025	10
Aktuelle Besetzung	12
Ehemalige Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter	16
Studentische Hilfskräfte 2024/2025	18
Zahlen und Fakten	20
Werte und Ziele	20
Die Jahre in Zahlen	21
Wege zum elenia	22



100 Jahre elenia

Programm der 100-Jahr-Feier	28
Tag 1 — 01. Oktober 2025	28
Tag 2 — 02. Oktober 2025	29



Geschichtlicher Rückblick

100 Jahre Institut für Hochspannungstechnik und Energiesysteme	32
Die Berufung von Erwin Marx im Jahr 1925	34
Der Neubau der elektrotechnischen Institute	35
Ein systematisches Forschungsprogramm zur Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung	37
Erwin Marx als Schlüsselfigur der nationalsozialistischen Rüstungsforschung	38
Kriegsende 1945 und schwieriger Neuanfang	39
Fazit: Kontinuitäten und Wandel der Forschungstraditionen	40
Marx-Schüler	40
Versuchsanlage-Hallendorf (1962–2007)	40
Dieter Kind und die Physikalisch-Technische Bundesanstalt	40
Eine neue Forschungstradition: dezentrale Energieerzeugung, Elektromobilität und Netzausbau	41



Teamberichte

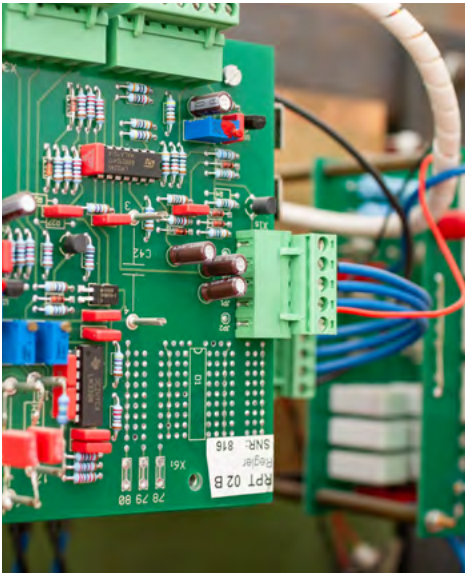
Team Batterietechnik	46
Team DC-Systeme und Schaltgeräte	52
Team Energiemanagement, Energiesystemmodellierung und Energiewirtschaft	58
Team Hochspannung, Vakuum- und Plasmatechnik	62
Team Netzdynamik und Systemstabilität	66
Team Netzbetrieb und Netzplanung	72





Promotionen

Marc René Lotz	80
Patrick Vieth	81
Felix Klabunde	82
Enno Peters	83
Timo Meyer	84
Gian-Luca Di Modica	85
Cornelius Biedermann	86
Julia Gartner	88
Nils Müller	89
Robin Grab	90
Tobias Kopp	91



Labore und Werkstätten

Batterietest-Labore	95
Blitzschutzlabor	99
DC-Demonstrationsnetzlabor	103
Hochleistungsgleichstromprüffeld	107
Hochspannungshalle	111
Isolierstofflabor	115
Kooperationslabor	119
Leistungsprüffeld	123
elenia-Ladepark	127
Energiemanagementlabor	131
Netzdynamiklabor	135
Mechanische & Elektrotechnische Werkstatt	139
IT-Abteilung des elenia	145



Lehre

Lehrveranstaltungen	150
Studentische Arbeiten 2024	154
Studentische Arbeiten 2025	160



Chronologie

Veröffentlichungen 2024	166
Veröffentlichungen 2025	170
Veranstaltungen und Events 2024	172
Veranstaltungen und Events 2025	174
Beteiligung an der Selbstverwaltung 2024	176
Beteiligung an der Selbstverwaltung 2025	177



Wir sind das elenia



Jahresrückblicke 2024 und 2025	10
Aktuelle Besetzung	12
Ehemalige Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter	16
Studentische Hilfskräfte 2024/2025	18
Zahlen und Fakten	20
Werte und Ziele	20
Die Jahre in Zahlen	21
Wege zum elenia	22

Jahresrückblicke 2024 und 2025

Vergangenheit und Umbrüche

Unser Institut blickt mit großer Vorfreude auf sein bevorstehendes Jubiläum und hat bereits mit den ersten vorbereitenden Maßnahmen begonnen:

Im Archiv werden alle historischen Unterlagen gesichtet und zusammengeführt, um die Grundlage für einen hochwertigen Festband zu legen, der die Entwicklung unseres Hauses, wichtige Forschungsprojekte und prägende Persönlichkeiten würdigt.

Zugleich haben bereits lang geplante und notwendige Baumaßnahmen zur Erhaltung und Modernisierung unseres Institutsgebäudes begonnen, damit unser Standort auch für kommende Generationen in einem guten Zustand bleibt. Parallel dazu werden unsere Adresslisten reaktiviert und ergänzt, um den Kontakt zu ehemaligen Studierenden und Mitarbeitenden wieder aufzunehmen und ein lebendiges Alumni-Netzwerk zu etablieren.

Leider müssen wir auch mitteilen, dass Prof. Achim Enders am 13. Juli 2024 im Alter von 66 Jahren verstorben ist. Seit 1996 leitete er das aus dem Institut für Hochspannungstechnik neu gegründete Institut für Elektromagnetische Verträglichkeit, war als gefragter Sachverständiger in der Strahlenschutzkommission des Bundesumweltministeriums tätig und zeichnete sich stets durch sein außerordentliches Engagement

in Forschung und Lehre aus. Mit seinem wissenschaftlichen Weitblick und seiner unermüdlichen Tatkraft prägte er Generationen von Studierenden und Kolleginnen und Kollegen. Sein plötzlicher Verlust erfüllt uns mit tiefer Trauer; wir werden sein Andenken in Ehren halten und seine Verdienste niemals vergessen.

Um die Kontinuität in Forschung und Lehre sicherzustellen, hat die Fakultätsleitung umgehend eine Berufungskommission einberufen. Bis zur Neubesetzung der Professur übernehmen die Kolleginnen und Kollegen die von Prof. Enders betreuten Lehrveranstaltungen. Die Vorlesung „Rechenmethoden“, die den Studierenden Einblicke in die enge Beziehung zwischen Mathematik und Elektrotechnik ermöglicht, wird bis auf Weiteres vom elenia fortgeführt.

Seit April 2025 ist Prof. Bernd Engel Studiendekan für zwei Jahre. Die größte Herausforderung ist die Studierendengewinnung. Erste Aktivitäten wurden bereits im Februar 2024 gestartet mit dem Tag der offenen Tür mit einem interessanten Programm in den Laboren in der Schleinitzstraße. Neben Holen ist auch das Halten der Studierenden wichtig. Dazu initiierten wir am 16.5.

als Dankeschön ein Beisammensein der Fachschaft mit den Profs am Foodtruck bei Musik und guter Stimmung.

In der ETG Fachbereich Q2 – Werkstoffe, Isoliersysteme, Diagnostik – gab es wieder viele Aktivitäten. Die Gestaltung und erfolgreiche Ausrichtung der Hochspannungstage 2024 sowie die Erarbeitung und Herausgabe der Studie Höherauslastung von Betriebsmitteln und die Planung eines Workshops in der Zeit 15.–16.9.2025. Allen Beteiligten einen herzlichen Dank dafür.

Die Förderprojekte haben sich unterschiedlich weiterentwickelt. Durch die fehlenden Mittel im Klima- und Transformationsfonds hat die Batterieforschung in Deutschland einen großen Rückschlag erhalten. Lang geplante Verbundprojekte sind abgesagt worden und viele wissenschaftliche Mitarbeitende haben die Hochschule verlassen. Diese Störung im Wissenschaftssystem wieder zu beheben, erfordert große Anstrengungen, gerade auch vor dem Hintergrund der Abnahme der Studierendenzahlen.

Neue Projekte und Wissensgemeinschaften sind entstanden in der Zusammenarbeit der Forschungsschwerpunkte Metrologie und Stadt der Zukunft mit der PTB. Hier entwickeln sich aus einzelnen

Forschungsprojekten größere Initiativen zu einer „MetroPolis“ in der vor allem die Nutzenden einbezogen werden. Hier sind wir den Geisteswissenschaften für ihre Beiträge sehr dankbar.

Zum Thema Netzanbindung von Offshore-Windparks konnten wir weitere EU-Projekte erhalten. Dabei stehen die Systembetrachtung der HGÜ-Übertragung und die Schalt- und Schutztechnik im Vordergrund unserer Forschung. Mehr dazu findet sich in den Forschungsberichten der Teams.

Dass ein Energiesystem mit 100%-Einspeisung aus Erneuerbaren Energien stabil zu betreiben ist, zeigt die Roadmap Systemstabilität der Bundesregierung, an deren Erarbeitung sich auch das elenia beteiligt hat. Auch beim zugehörigen Leuchtturmforschungsprojekt SysStab2030 und im Forum Systemstabilität engagiert sich das elenia. Kernkompetenz des elenia aus mehreren Forschungsprojekten ist die Anwendung netzbildender Wechselrichter im Verbundnetz auf den verschiedenen Spannungsebenen, um die Trägheit der rotierenden Massen aus fossilen Kraftwerken zu ersetzen. Das konnte auch dem Verteilnetzbetreiber Avacon Netz, mit dem eine neue Kooperation besteht, in einem Tages-Workshop im elenia energy lab vermittelt werden. Außerdem wird zusammen mit consentec

in einer Studie für die vier deutschen Übertragungsnetzbetreiber ein Preisvorschlag für die marktgestützte Beschaffung von Momentanreserve ermittelt.

Das elenia ist auch maßgeblich am Hydrogen Terminal Braunschweig beteiligt, das am 24. Juni 2024 in der Nähe des Flughafens feierlich eröffnet wurde. Hier soll zukünftig entlang der ganzen Prozesskette von der Erzeugung über die Speicherung bis zur Nutzung des klimaneutralen Wasserstoffs geforscht werden. Gefördert wird das Forschungsprojekt durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit einem Gesamtvolumen von über 20 Mio. Euro. Das elenia erforscht die Netz- und Marktintegration des 1-MW-Elektrolyseurs in Verbindung mit einem 1,1-MWh-Batteriespeicher, der über einen netzbildenden Wechselrichter an das Netz angeschlossen wird.

Das Energieforschungszentrum Niedersachsen (efzn) entwickelt sich unter Beteiligung des elenia weiter. Das Land Niedersachsen und die VolkswagenStiftung fördern seit 2024 für fünf Jahre mit insgesamt 58,2 Mio. Euro das Verbundforschungsprojekt ten.efzn aus dem Programm zukunfft.niedersachsen. Dies ist die höchste Fördersumme, die das Niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und

Kultur jemals für ein standortübergreifendes Forschungsprogramm in der Energieforschung bewilligt hat.

Ein Wort noch zur Zeitenwende und der Auswirkungen auf den Wissenschaftsbetrieb. Wie passen Forschungssicherheit mit der Freiheit von Lehre und Forschung zusammen? Wie gehen Forschende und Lehrende mit Risiken und Chancen der Internationalisierung um? Hier bringen wir die Diskussion mit unseren Beiträgen in der Ethikkommission der TU und bei der Erstellung eines Memorandums zur Forschungssicherheit des BMBF mit ein. Sowohl von der TU als auch vom BMBF werden dazu Konferenzen und Informationsveranstaltungen durchgeführt.

In unserer Geschäftsstelle haben wir ein neues Team aufbauen können. Für die Buchhaltung konnten wir zusätzlich Petra Groß-Ulrich und Anika Kolbe gewinnen, während das Sekretariat von Manja Rücker unterstützt wird. Den neuen Mitarbeiterinnen ein herzliches Willkommen im Team und Frau Sylvia Glowania alles Gute für ihre neue Tätigkeit. Wir sind überzeugt, dass wir mit unserem neuen Team die Abläufe weiter optimieren und Sie bestmöglich unterstützen können.

Aktuelle Besetzung

→ Institutsleitung



Prof. Dr.-Ing. M. Kurrat
Geschäftsführender Institutsleiter



Prof. Dr.-Ing. B. Engel
Institutsleiter

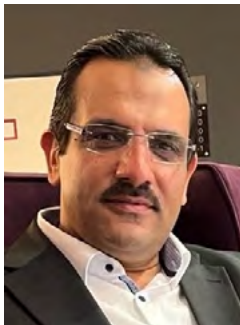


Dr.-Ing. Dirk Bösche
Technischer Leiter

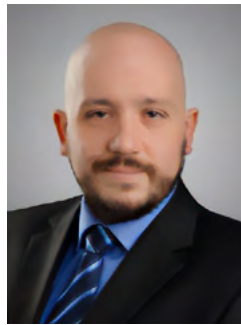


Dr.-Ing. Frank Soyck
Administrativer Leiter

→ Lehrbeauftragte



Dr.-Ing. Nasser Hemdan



Dr.-Ing. Michael Hilbert



Dr. Stefan Laudahn



Dr.-Ing. Frank Lienesch



Dr. Johann Meisner



Dr. Johannes Schmiesing



Dr.-Ing. Christian Schulz

→ Geschäftsstelle



Elke Droemer



NEU 2024

Petra Groß-Ulrich

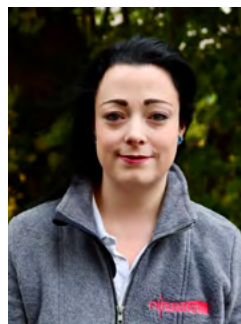


NEU 2024

Anika Kolbe



Nancy Preuße



Manja Rücker

→ Team Energie- management, Energiesystem- modellierung und Energiewirtschaft



Eike Niehs
Teamleitung



Tamara Beck



Julien Essers



Merle Ferk



Marcel Lüdecke



Michel Meinert



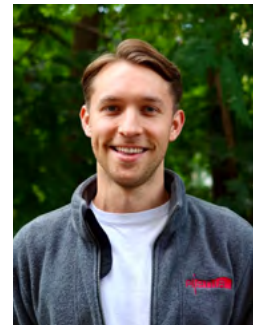
Kevin Preißner



Kai Schulze



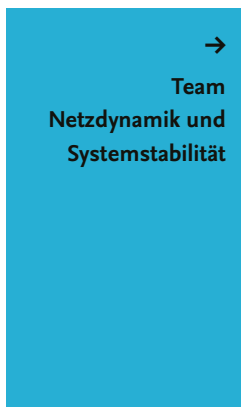
Ajay Kumar Thakur



Henrik Wagner
AG-Leitung ES



Carsten Wegkamp



Timo Sauer
Teamleitung



Stefanie Walujski
Teamleitung



Sofie Brammer



Max Gand



Till Garn



Johanna Grobler



Stefan Klöpping



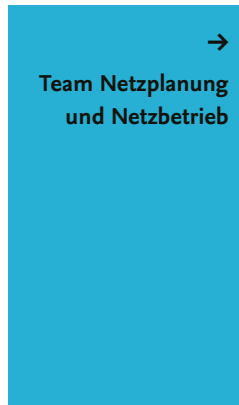
Nelly Gorkow



Frederik Tiedt



Björn Oliver Winter



Lukas Ebbert
Teamleitung



Gerald Gebhardt



Nils Gräfer



Robin Herman



Hartmudt Köppe



Merten Schuster



Oliver Landrath
Teamleitung



Mara Luisa Hiller



Merit Holdorf
AG-Leitung ET



Cedric Jackmann



Andreas Laufer



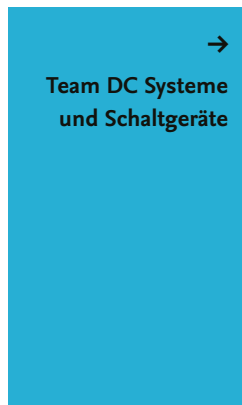
Marvin Nebelsiek



Julius Rieckmann



Anna Rollin



Fabian Benedikt Witt
Teamleitung



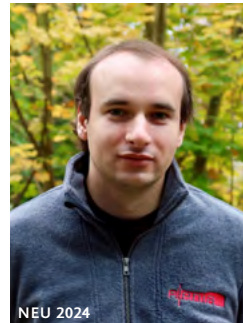
Abdolhamid Farshadi



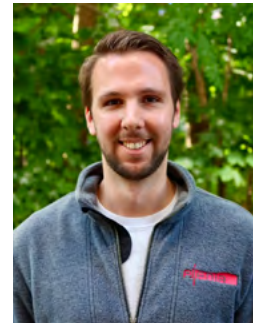
Dr.-Ing. Melanie Hoffmann



Timo Jelden



Peer König



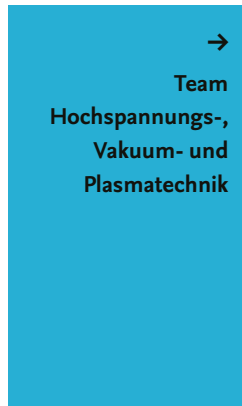
Marc René Lotz



Patrick Vieth



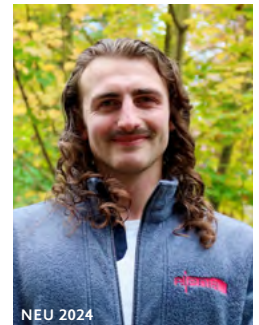
Fanke Zeng



→
Team
Hochspannungs-,
Vakuum- und
Plasmatechnik



Karen Flügel
Teamleitung



David Cziemplik



Mats Göhrmann



Marius Hinz



Maik Kahn



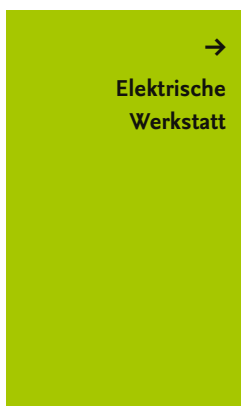
Timo Meyer



Nils Wilm Rosebrock



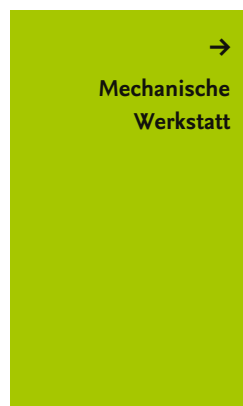
Laura Tiedemann



→
Elektrische
Werkstatt



Christian Ryll
Werkstattleitung



→
Mechanische
Werkstatt



Kerstin Rach
Werkstattleitung



Matthis Grosche



Frank Haake



Julia Musebrink



Claas Narup



Fabian Scholz
IT-Leitung



Lukas Oppermann
IT-Administration



Alexander Dubowik (PTB)
Frank Weinrich (PTB)
Jens Eickelmann (PION Technology AG)
Kira Reuter (Stadtwerke WF)
Matthias Grandel (HS Biberach)
Matthias Schmidt (PTB)
Michael Ulbig (PTB)
Patrick Mansheim (SWM)
Robin Langemann (Landwind)
Torben Jennert (PTB)
Tobias Weinmann (HS Augsburg)

Ehemalige Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Vielen Dank für euer Mitwirken und
alles Gute für eure Zukunft.

2023

Muhamet Alija
Enno Peters
Lars Claaßen
Jonathan Ries

2024

Felix Klabunde
Tobias Jesberger
Torben Jennert
Sylvia Glowania

2025

Jan Zimball
Sascha Wasner
Mattias Hadlak

Lily Kahl
Gavin Drüner
Cornelius Biedermann
Gian-Luca Di Modica

Bereit, bei der Energiewende mitanzupacken?

Die Energiewende voranbringen
und dabei selbst vorankommen.

Jeden Tag arbeiten wir an der Transformation der Energiewirtschaft. Schritt für Schritt geht es voran. Bereit, den Weg mitzugehen?

Unsere Mitarbeiter machen den Unterschied. Sie sind der Schlüssel, um die Energiesysteme der Welt zu verändern. Erfahren Sie mehr über eine Karriere bei Siemens Energy.

LET'S MAKE TOMORROW DIFFERENT TODAY

Studentische Hilfskräfte 2024/2025

Ein großes Dankeschön geht an unsere studentischen Helfer und Helferinnen, vielen Dank für eure Unterstützung.

2024

Alonso, Aleixo	Machens, Helena-Celine
Alrawashdeh, Ahmad	Manzoor, Hina
Al Saleh Al Hariri, Moha	Meinecke, Manuel
Arora, Nikhil	Meyhöfer, Adrian
Bautz, Yannick	Mohadeseh, Ebrahimi
Berman, Valentin	Nguyen, Duc Anh
Bettermann, Carl	Otgonpurev, Erdene
Binti Ahmad Ramzi, Nur Aina Najwa	Pandey, Shivam
Bin Raja Nahar	Pape, Marlene
Brinkmann, Jonas	Pensky, Emma
Bollhorn, Steffen	Protze, Linus
Bormann, Debwashis	Qualo, Leonie
Bhume, Nitesh	Rajbeer Singh, Sahib Singh
Burgdorf, Mads	Raut, Siddhesh
Callsen, Jan Jakob	Reuning, Fabian
Dammann, Benedict Noel	Rieckmann, Julius
Dieckmann, Nico	Rosebrock, Nils
Elte, Justus	Rothert, Johannes
Fehrs, Tabea	Rai, Sampras
Fesefeldt, Julius	Singh, Shivank
Funk, Martin	Scheler, Nils
Giesselmann, Keno	Schmidt, Tjark
Gramzow, Malte	Schomburg, Marlon
Grygiel, Leonie	Schulze, Kai
Haounani, Anas	Teng, Zhi
Hartau, Nils	Vahidi, Ali
Haschke, Felix	Viere, Steffen
Hemdan, Asmaa	Viradia, Yash
Heßler, Laura	Vivek, Keerthiveettill
Immer, Jennifer	Lützow, Constantin
Keles, Ismail	Wang, Ziang
Jantzen, Lennart	Webel, Rika
Kiptanui, Collins Kiprop	Weinand, Maurice
Kocur, Katharina Camilla	Weinrich, Matteo
Kuete Nzonang, Jennher	Wilde, Lukas
Kuipou, Franklin	Zalewski, Laura
Krüger, Henning	Zamorano, Guillermo
Körtje, Maximilian	Zhang, Kui
Lehmann, Jerome	Zurmühlen, Andre
Li, Chenfeng	Zhou, Zhenghan
Liu, Jiakun	

2025

Alonso, Aleixo	Körtje, Maximilian
Alrawashdeh, Ahmad	Kuipou, Franklin
Bautz, Yannick	Lehmann, Jerome
Binti Ahmad Ramzi, Nur Aina Najwa	Li, Chenfeng
Bin Raja Nahar	Machens, Helena-Celine
Brinkmann, Jonas	Meyhöfer, Adrian
Burgdorf, Mads	Meinecke, Manuel
Bormann, Debwashis	Otgonpurev, Erdene
Brökerbaum, Adrian	Oestereich, Finnja
Callsen, Jan Jakob	Protze, Linus
Dammann, Benedict Noel	Qualo, Leonie
Dieckmann, Nico	Rothert, Johannes
Elte, Justus	Rajbeer Singh, Sahib Singh
Gasek, Daniel	Stefanek, Pierre
Gramzow, Malte	Scheler, Nils
Grygiel, Leonie	Schmidtke, Louisa
Hartau, Nils	Victor, Nina
Hemdan, Asmaa	von Lützow, Constantin
Heßler, Laura	Wache, Johannes
Hermesen, Claas	Weinrich, Matteo
Immer, Jennifer	Wilde, Lukas
Jantzen, Lennart	Zamorano, Guillermo
Kiptanui, Collins	Zhang, Kui
Kiron, Islam	Zurmühlen, Andre

**WIR
GRATULIEREN
HERZLICH ZUM
JUBILÄUM!**



WIR SIND DA.

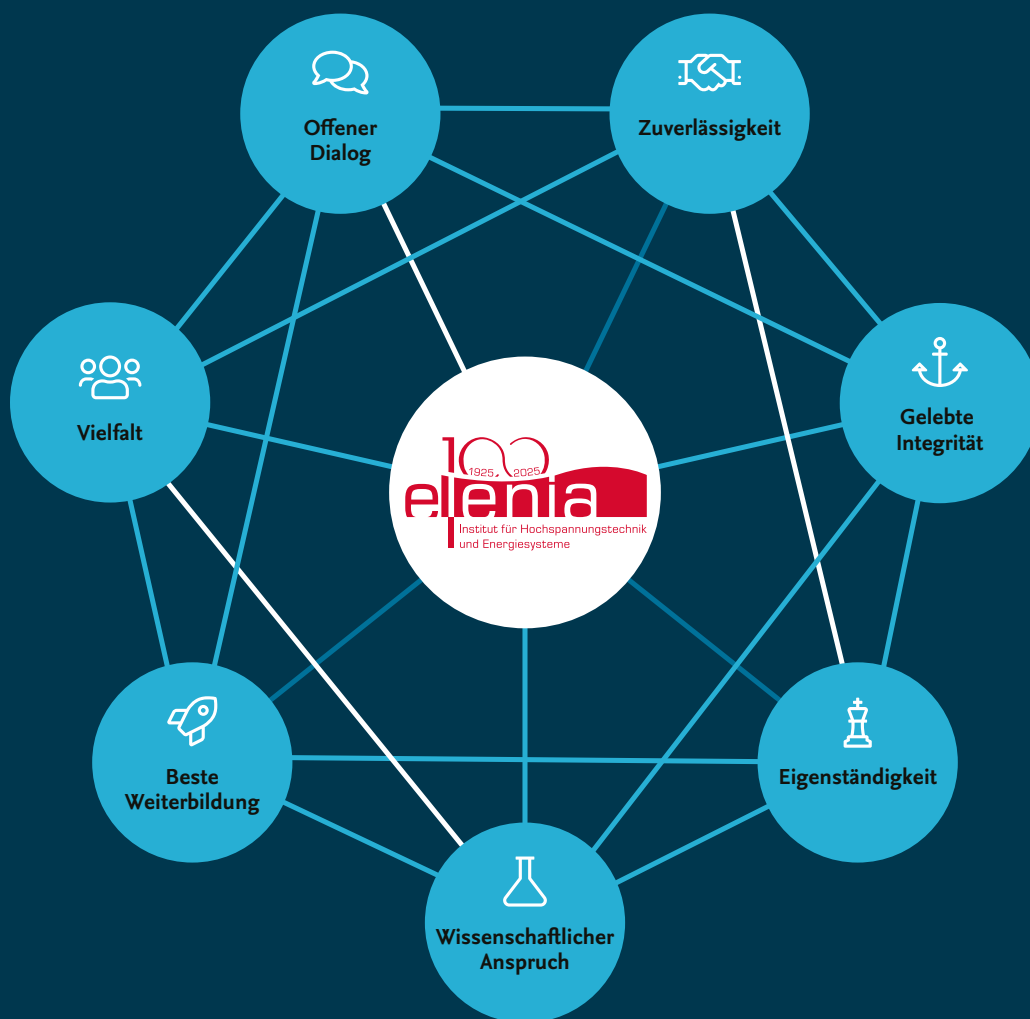
**DAMIT DIE ZUKUNFT
KLIMANEUTRAL WIRD.**

**JETZT
BEWERBEN!**



Zahlen und Fakten

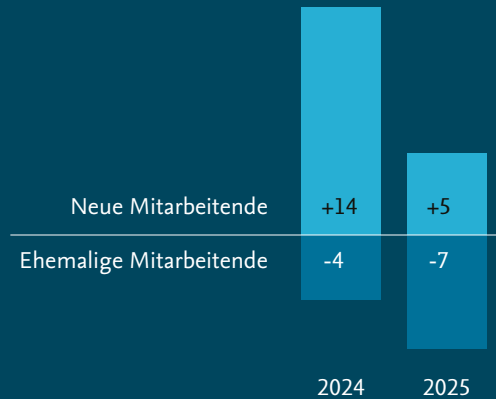
Werte und Ziele



„Exzellenz in Forschung und
Lehre erreichen und die
Zukunft der Energietechnik
aktiv mitgestalten“

Die Jahre in Zahlen

Beschäftigte



Standort

Braunschweig (Niedersachsen)
seit 1925



Studentische Arbeiten



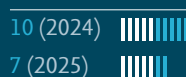
Bachelor



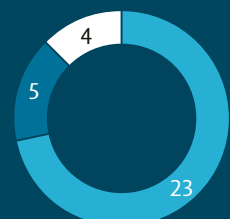
Master



Studienarbeiten



Lehre



Wege zum elenia

Stefanie Walujski

2016 begann ich mein Bachelorstudium der Elektrotechnik an der TU Braunschweig. Ich freute mich auf die vielfältigen und abwechslungsreichen Lehrveranstaltungen, auch wenn manche Inhalte anfangs eine echte Herausforderung darstellten. Da es mir schwerfiel, mich auf eine Vertiefungsrichtung festzulegen, bewarb ich mich als Hiwi beim elenia, um praktische Erfahrungen zu sammeln und mehr über meine Interessen herauszufinden. Diese Zusammenarbeit überzeugte mich so sehr, dass ich beschloss auch meine Bachelorarbeit am elenia zu schreiben. Dadurch hatte ich erstmals die Gelegenheit eigenverantwortlich zu arbeiten und dabei erste Einblicke in die Forschung am Institut zu erlangen.

Nach dem Bachelor folgte das Masterstudium in Elektrotechnik und aus meiner Hiwi-Stelle wurde eine Laboringenieur-Stelle am elenia. Während das Campusleben an der Uni durch die Corona-Pandemie weitgehend ausfiel, hielten wir „Lab-Ing“ umso mehr zusammen. Dank flexibler Arbeitszeiten und räumlicher Nähe zu den Hörsälen bzw. Online-Vorlesungen, ließen sich Studium und Arbeit ganz gut kombinieren. Im Team „Netzdynamik und Systemstabilität“ konnte ich mich aktiv in die Forschungsprojekte einbringen, mir praktische Fähigkeiten aneignen und mich an den fachlichen Diskussionen beteiligen. Ich reiste für ein Auslandssemester nach Paris, wo ich

durch den Austausch mit internationalen Studierenden neue Perspektiven kennenlernte und neue Freundschaften schloss. Zurück in Braunschweig verfasste ich am elenia meine Masterarbeit, in der ich mich intensiv mit der Systemstabilität des elektrischen Netzes beschäftigte.

Obwohl ich mir zunächst kaum vorstellen konnte, nach dem Masterabschluss eine Promotion anzustreben, überzeugten mich sowohl das Thema meiner Masterarbeit als auch ein daran thematisch angegliedertes Forschungsprojekt, am elenia zu bleiben. An der Promotion begeistert mich besonders, sich fundiert und gezielt in eine Thematik einzuarbeiten und dabei einen eigenen Forschungsschwerpunkt setzen zu können, der einen Fortschritt zum gegenwärtigen Wissensstand liefert. Der Austausch im Team ist dabei essentiell, um die eigenen Ergebnisse regelmäßig kritisch zu hinterfragen und neue Ideen weiterzuentwickeln. Hierbei ist es eine besondere Bereicherung, dass wir nicht nur konstruktiv zusammenarbeiten und voneinander lernen, sondern auch abseits davon bei vielen unterschiedlichen Gelegenheiten eine echt gute Zeit miteinander verbringen. Ich blicke auf ein aufregendes und interessantes erstes Jahr als wissenschaftliche Mitarbeiterin zurück und freue mich auf die künftigen neuen Erfahrungen und Herausforderungen.



Stefanie Walujski





Cedric Jackmann

Mein Weg zum elenia begann, ohne dass ich es zu Beginn ahnte, mit meinem Studium der Elektro- und Informationstechnik an der Ostfalia Hochschule in Wolfenbüttel. Besonders geprägt hat mich dabei die Phase meiner Bachelorarbeit. Über eine offene Themenausschreibung kam ich zur Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig. Dort hatte ich die Möglichkeit, sowohl meine Studienarbeit als auch meine Bachelorarbeit im Bereich Explosionsschutz von Batterien zu schreiben. Schon zu diesem Zeitpunkt wurde mein Interesse für Batterietechnologien geweckt – ein Thema, das mich bis heute begleitet.

Durch die enge Kooperation zwischen der PTB und dem elenia wurde ich auf das Institut aufmerksam. Während meines anschließenden Masterstudiums im Bereich Elektromobilität an der TU Braunschweig erhielt ich die Chance, als Laboringenieur im Batterieteam des elenias zu arbeiten. Diese Rolle ermöglichte es mir, über zwei Jahre hinweg tiefgreifende praktische Erfahrungen zu sammeln: Ich habe Batteriezellen selbst gebaut, charakterisiert und untersucht, konnte Versuchsreihen begleiten und aktiv an verschiedenen Projekten mitwirken.

Gleichzeitig habe ich dadurch wertvolle Einblicke in den Institutsalltag und das universitäre Umfeld gewonnen.

Meine Masterarbeit schloss inhaltlich nahtlos an diese Erfahrungen an und setzte ebenfalls im Bereich der Batterietechnik an. Der Übergang in meine jetzige Tätigkeit als Wissenschaftlicher Mitarbeiter verlief dadurch fließend. Heute darf ich das elenia nicht nur wissenschaftlich unterstützen, sondern aktiv mitgestalten – in der Forschung, in der Lehre, in der Projektarbeit und im Institutsalltag. Die Möglichkeit, sowohl an zukunftsweisenden Forschungsthemen zu arbeiten als auch zur Ausbildung kommender Generationen beizutragen, erfüllt mich sehr.

Ich hoffe, dass ich mit meiner Arbeit nicht nur das Institut stärke, sondern auch einen sinnvollen Beitrag zur Weiterentwicklung der Batterietechnologie und damit zur Energiewende leisten kann. Für mich war und ist der Weg zum elenia ein Weg, der aus Neugier entstand, durch Praxis gestärkt wurde und nun durch Forschung und Engagement weitergeht.



Cedric Jackmann



100 Jahre elenia



Programm der 100-Jahr-Feier	28
Tag 1 — 01. Oktober 2025	28
Tag 2 — 02. Oktober 2025	29

Programm der 100-Jahr-Feier

Tag 1 — 01. Oktober 2025

elenia X perience

14:00	Ankommen und Wiedersehen Eingangsbereich Schleinitzstraße 22/23	
14:30	Begrüßung und Einführung Hörsaal SN23.1 – Schleinitzstraße 23 (2. OG) Prof. Dr.-Ing. Kurrat & Prof. Dr.-Ing. Engel Hochspannungstechnik und Energiesysteme 1925 bis 2025	
15:00	Vorträge Prof. Dr. Ing. Lindmayer Elektrische Energieanlagen Prof. Dr.-Ing. Jens Tepper Hallendorf	Laborbesichtigungen Freie Besichtigung der Hochspannungshalle und weiterer Labore
16:00		

Abendveranstaltung

18:30	Sektempfang Dornse – Altstadtmarkt 7, 38100 Braunschweig
19:00	Begrüßung Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel (Institutsleiter, elenia, TU Braunschweig) Vertretung der Stadt Braunschweig Festbankett
22:00	Ende der Abendveranstaltung

Tag 2 — 02. Oktober 2025

Festkolloquium elenia 100

- 09:00 • Empfang und Einlass**
Audimax – Pockelsstraße 15
- 09:30 • Beginn des Festkolloquiums**
- Begrüßung**
Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat (Institutsleiter, elenia, TU Braunschweig)
Grußworte
Prof. Dr. Angela Ittel (Präsidentin, TU Braunschweig)
Prof. Dr.-Ing. Eduard A. Jorswieck (Dekan, Fakultät EITP, TU Braunschweig)
Prof. Dr. Sebastian Lehnhoff (Vorstandssprecher, Energieforschungszentrum Niedersachsen)
Dr.-Ing. Britta Buchholz (Vorstandsvorsitzende, Energietechnische Gesellschaft, VDE)
Dr.-Ing. Jürgen Reinert (CEO, SMA Solar Technology AG)
Dipl.-Ing. Stefan Böning (Director, Grid Field Operations Offshore, Tennet)
Dr.-Ing Martin Thedens (Vorsitzender, VDE Bezirksverein Braunschweig)
- 10:40 • Festvorträge**
100 Jahre elenia – Rückschau
Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat (Institutsleiter, elenia, TU Braunschweig)

100 Jahre elenia – Perspektive der Technikgeschichte
Prof. Dr. Christian Kehrt (Professur Wissenschafts- und Technikgeschichte, TU Braunschweig)

100 Jahre elenia – Ausblick
Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel (Institutsleiter, elenia, TU Braunschweig)
- 11:40 • Gruppenfoto**
- 12:00 • Stehempfang**
- 13:00**

Ausklang am elenia

- 13:30 • Grillen am elenia**
Schleinitzstraße 23a, Parkplatz am Okerufer in Richtung Mühlenpfordtstraße
- 16:00**





Geschichtlicher Rückblick

100 Jahre Institut für Hochspannungstechnik und Energiesysteme	32
Die Berufung von Erwin Marx im Jahr 1925	34
Der Neubau der elektrotechnischen Institute	35
Ein systematisches Forschungsprogramm zur Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung	37
Erwin Marx als Schlüsselfigur der nationalsozialistischen Rüstungsforschung	38
Kriegsende 1945 und schwieriger Neuanfang	39
Fazit: Kontinuitäten und Wandel der Forschungstraditionen	40
Marx-Schüler	40
Versuchsanlage-Hallendorf (1962–2007)	40
Dieter Kind und die Physikalisch-Technische Bundesanstalt	40
Eine neue Forschungstradition: dezentrale Energieerzeugung, Elektromobilität und Netzausbau	41

100 Jahre Institut für Hochspannungstechnik und Energiesysteme

Prof. Dr. Christian Kehrt, 22.07.2025

Abt. für Wissenschafts- und Technikgeschichte, Institut für Geschichtswissenschaft, TU Braunschweig

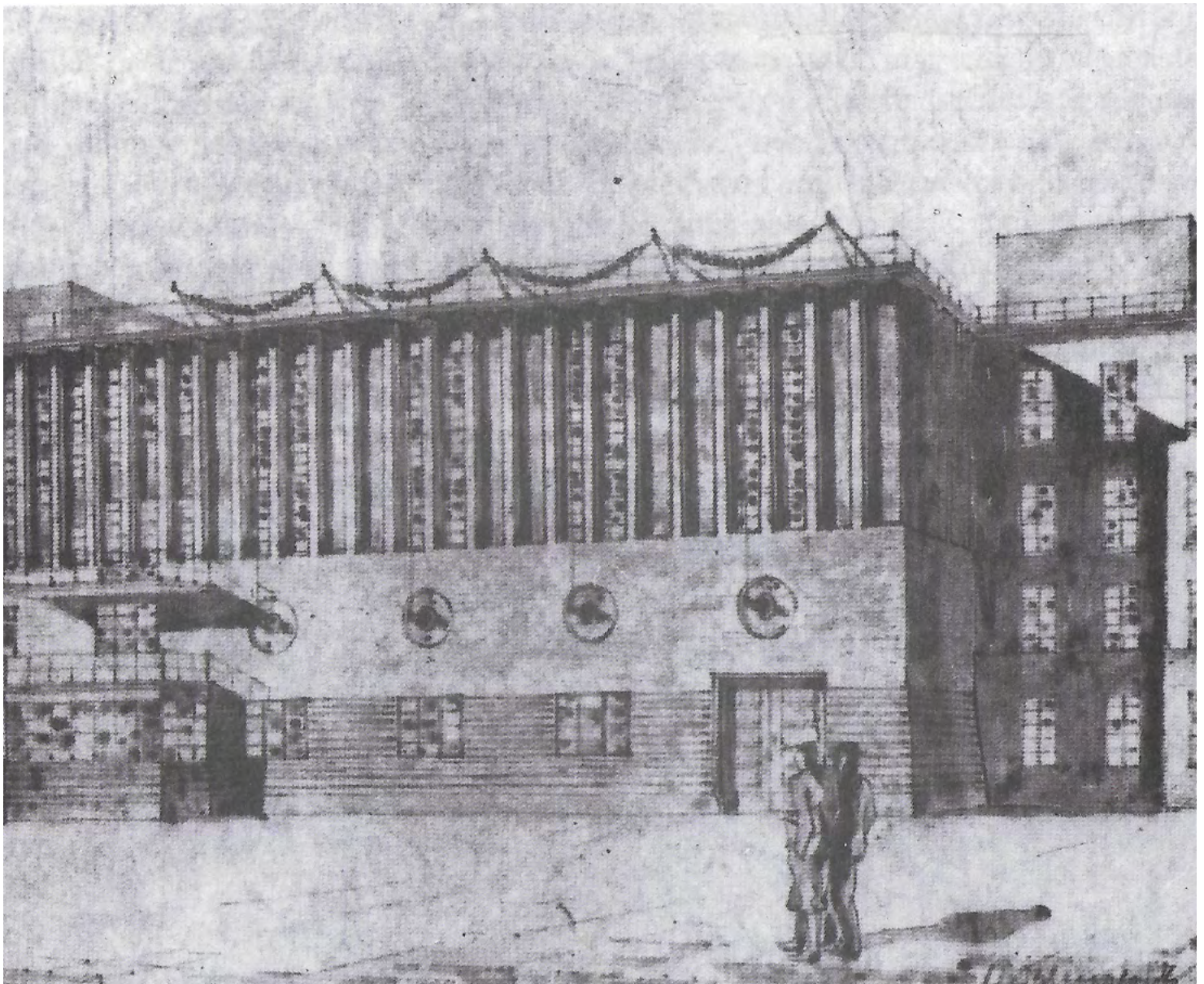


Bild 1: Entwurf des Neubaus der elektrotechnischen Institute, Prof. Mühlentopf 1926/27, in: Prof. Timmerding [Hg.], Die Technische Hochschule Braunschweig. Braunschweig 1931, S. 100.

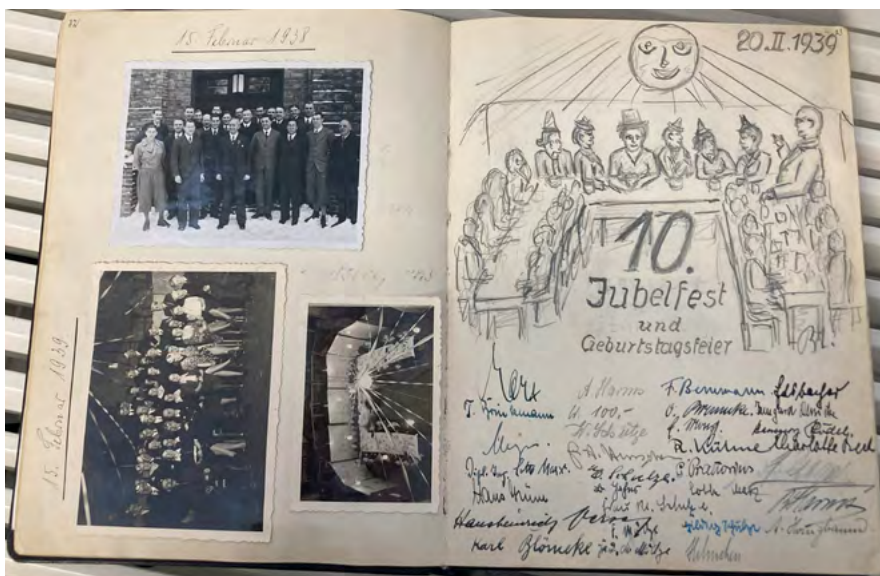


Bild 2: Die Institutschronik kündigt von einem regen Institutsleben und datiert das Gründungsdatum auf das Jahr 1929, das nach 10 Jahren am 20. Februar 1939 gebührend gefeiert wurde. Quelle: Institutschronik elenia Institut.

Das *elenia Institut für Hochspannungstechnik und Energiesysteme* der TU-Braunschweig blickt auf eine lange und bedeutende Geschichte zurück.⁰¹ Diese war durch die jeweiligen Institutsleiter bestimmt, denen es gelang, über mehrere politische, wirtschaftliche und hochschulpolitische Krisenphasen und Brüche hinweg, Schwerpunkte in Forschung und Lehre auszubilden, die heute noch den Standort Braunschweig prägen. Hierzu zählen Arbeiten zur Durchschlagsfestigkeit verschiedener Isolierstoffe, zum Lichtbogen als Schalterelement und Gleichrichter und insbesondere die Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ). Diese wurde bereits in der Zwi-

schenkriegszeit systematisch erforscht und steht im Kontext des Netzausbaus auf der Basis erneuerbarer Energien heute im Zentrum des Forschungsinteresses. Auch im Bereich der universitären Lehre und Ausbildung hat die Fokussierung auf eine praxisorientierte, experimentelle Laborforschung Generationen von Studierenden der Elektrotechnik geprägt.⁰² Im Folgenden steht die entscheidende Zeit der Gründungsphase in den 1920er Jahren im Mittelpunkt, in der Erwin Marx Forschung und Lehre des Instituts für Hochspannungstechnik weit über Braunschweig hinaus bekannt machte. Mit seiner Berufung und der jahrzehntelangen Tätigkeit verbinden sich wichtige

Weichenstellungen und Traditionslinien der Institutsgeschichte.

Orientiert man sich an der feierlichen Eröffnung der elektrotechnischen Institute, dann datiert sich das Jubiläum des Hochspannungsinstituts auf das Jahr 1929.⁰³ Alternativ bietet sich auch der Beginn der Elektrotechnik in Braunschweig mit der Berufung Wilhelm Peukerts auf den ersten Lehrstuhl für Elektrotechnik an der TH Braunschweig im Jahr 1890 an.⁰⁴ Demgegenüber betont die Wahl des Jahres 1925 die Eigenständigkeit jener Forschungstradition, die mit der Berufung Erwin Marx im Jahr 1925 beginnt. Dies war auch die Ansicht von Dieter Kind anlässlich der feierlichen Institutsübergabe an seinen Nachfolger Hermann Kärner im Jahr 1977:

„Genau lässt sich seine Gründung nicht rekonstruieren, jedoch ist es vernünftig, sie mit dem Dienstantritt von Prof. Marx im Oktober 1925 gleichzusetzen. Demnach hätten wir also die Feier des 50jährigen Jubiläums, das gerade heute vom Institut für Nachrichtentechnik begangen wird, noch nachzuholen.“⁰⁵

Während zahlreiche Erinnerungsrückblicke zum Werk von Erwin Marx vorliegen und Helmut Maier dessen Rolle im Nationalsozialismus und Zweiten Weltkrieg untersucht hat, fehlt es weiterhin an einer Studie zur spannenden wie komplexen Geschichte des *elenia Instituts* in der Zeit nach 1945.⁰⁶

Die Berufung von Erwin Marx im Jahr 1925

Wichtige Weichenstellungen in der Geschichte des elenia Instituts wurden bereits Mitte der 1920er Jahre in der Gründungsphase vollzogen, als der damals 32-jährige, in der elektrotechnischen Fachwelt schon bekannte Dresdner Ingenieur Erwin Marx (1893–1980) auf den Lehrstuhl für elektrische Messkunde und Hochspannungstechnik nach Braunschweig berufen wurde. Der aus Sachsen stammende Elektrotechniker begann 1912 sein Studium an der TH Dresden, das durch seinen freiwilligen Kriegseintritt im August 1914 unterbrochen wurde. Zweimal verwundet nahm er schließlich sein Studium im Jahr 1919 wieder auf und wurde Assistent von Geheimrat Görges an der TH Dresden, an der er 1921 mit einer Arbeit über die Bestimmung der Lage des Erdpotentials in Drehstromanlagen promovierte. Im gleichen Jahr heiratete er seine Kommilitonin Charlotte Günther, eine der ersten und wenigen Frauen, die an der TH Dresden Elektrotechnik studiert und auch an der TH Braunschweig noch elektrotechnische Lehrveranstaltungen besucht hatte.⁰⁷

Anschließend war er in der Industrie tätig – bei Siemens-Schuckert, den Elektrotechnischen Werken Dresden und schließlich als Leiter des elektrotechnischen Versuchsfeldes der Hermsdorf-Schomburg Isolatoren GmbH in Thüringen, einer auf Industrieporzellan und Isolatoren spezialisierten Fabrik. Dort unternahm er wegweisende Versuche mit Spannungsstößen, um die Durchschlagsfestigkeit von Porzellanisolatoren zu prüfen. So kam es zur Erfindung des berühmten Stoßspannungsgenerators, dem sogenannten „Marx-Generator“. Dieser baute durch die Reihenschaltung mehrerer Kondensatoren größere Spannungen auf, die sich schließlich blitzartig in einer Stoßspannung entluden.⁰⁸ Dadurch konnte die Spannungsfestigkeit und damit die wichtige Frage der Sicherheit von Isolationsmaterialien getestet und bestimmt werden.

Diese Vervielfachungsschaltung zur Erzeugung hoher und höchster Spannung begründeten seinen Ruf an die TH Braunschweig. Am 1.10.1925 trat er sein Amt

Personal-Nachweisung.

Name: Marx Vorname: Erwin
 Dienstbezeichnung: Professor Behörde: Technische Hochschule Braunschweig

1	Geboren	am <u>15.II.1893</u> zu <u>Mautitz</u> Kreis <u>bei Riesa in Sachsen</u>
2	Eltern (Name, Vorname und Geburtsname der Mutter)	<u>Paul Marx</u> <u>Anna Marx geb. Gey</u>
3	Bekenntnis	<u>ev.luth.</u>
4	Familienstand	<u>verheiratet</u> mit <u>Charlotte geb. Günther</u>
5	Kinder	<u>1 Sohn 2 Töchter</u>
6	Militärdienst:	
	Eintritt	<u>4.8.1914 als Kriegs-Freiwilliger</u>
	Gruppenteile	<u>Res.Inf.Rgt. 241; Gren.Rgt. 100</u>
	Ausgeschieden als	<u>Leutnant d.Res. und Kompanie-Führer</u>
	am	<u>21. Dezember 1918</u>
	Dauer der Dienstzeit	<u>4 Jahre 4 Monate.</u> <u>16.8.31 Langemann S.R. / Inf. Rgt. 17</u>
7	Zivildienst:	
	Datum der Vereidigung	<u>29.8.1934.</u>
	Welche Jahre gelten infolge Teilnahme an Feldzügen als Kriegsjahre?	<u>1914 bis 1918.</u>

Bild 3: NLA WO_12Neu_16a Nr. 97 Personalakte Erwin Marx

als ordentlicher Professor für theoretische Elektrotechnik, Hochspannungstechnik und Elektrische Messkunde als Nachfolger von Prof. Dr. Wilhelm Peukert (1855–1932) an. Es gab zu diesem Zeitpunkt ein großes Interesse an einem Studium der Elektrotechnik.⁰⁹ In Braunschweig fehlten jedoch die modernen Einrichtungen und Labore, die unter Wilhelm Peukert noch notdürftig im Keller des Hauptgebäudes untergebracht waren.¹⁰ Wie schlecht ausgestattet die Elektrotechnik am Standort Braunschweig zum Zeitpunkt der Berufung von Erwin Marx war, zeigt die Rufablehnung eines Mitbewerbers:

„Diese mehr als unzulängliche Ausrüstung und die Erdrückung jeder vernünftigen Arbeitsmöglichkeit durch die gänzlich indiskutablen Raumverhältnisse machen m.E. eine genügende Ausbildung

der Studierenden unmöglich, so dass ich schwere Bedenken haben würde, heute einen Absolventen Ihrer elektrotechnischen Abteilung zu engagieren. [...] Dass der Bau eines Hochspannungslaboratoriums unerlässlich und dass auch die Spannung von 200.000 Volt mindestens verdoppelt werden muss, brauche ich nicht besonders zu betonen.“¹¹

Ziel war es daher, eine zukunftsweise praxis- und industriennahe wissenschaftliche Ausbildung zum Diplom-Elektroingenieur mit den hierfür erforderlichen Laboratorien und Werkstätten zu ermöglichen, die insbesondere im Bereich der Hochspannungstechnik, der Fernmeldetechnik sowie der elektrischen Maschinen und Anlagen den nötigen Platz und Ausstattung erforderten.

Der Neubau der elektrotechnischen Institute

In enger Kooperation mit dem damaligen Rektor und Professor für Hochbau und Baukunst Carl Mühlenpfordt (1878–1944) gelang es schließlich, die Institute für Elektrotechnik zu modernisieren und großzügig auszustatten. Um der Raumnot der expandierenden Elektrotechnik mit ihren sich ausdifferenzierenden Fachgebieten zu begegnen kam es zum Bau eines neuen Institutsgebäudes in unmittelbarer Nähe des Hauptgebäudes mit den entsprechenden Räumlichkeiten für Werkstätten, Maschinen und Laboratorien. Hierfür erwarb

die TH Braunschweig mit Unterstützung des kleinen und finanzschwachen Landes Braunschweig und des Hochschulbundes für 250.000 RM das Gelände der ehemaligen Hauswaldtschen Zichorienkaffeeabrik, das günstig zwischen Oker und Hauptgebäude der TH lag. In nur eineinhalb Jahren wurde das alte Fabrikgebäude zu einem in Deutschland führenden Lehr- und Versuchsgebäude der Elektrotechnik umgebaut.¹² Der großzügige Neubau war eine gelungene Mischung aus funktionalen Anforderungen unter Verwendung des traditionellen roten Ziegelsteins. Im architektonischen Gesamtwerk Carl Mühlenpfordts, der sich zwischen Expressionismus und neuer Sachlichkeit bewegte, stellt dieser Entwurf sicherlich einen Höhepunkt und „vielleicht das interessanteste Bauwerk“ dar.¹³

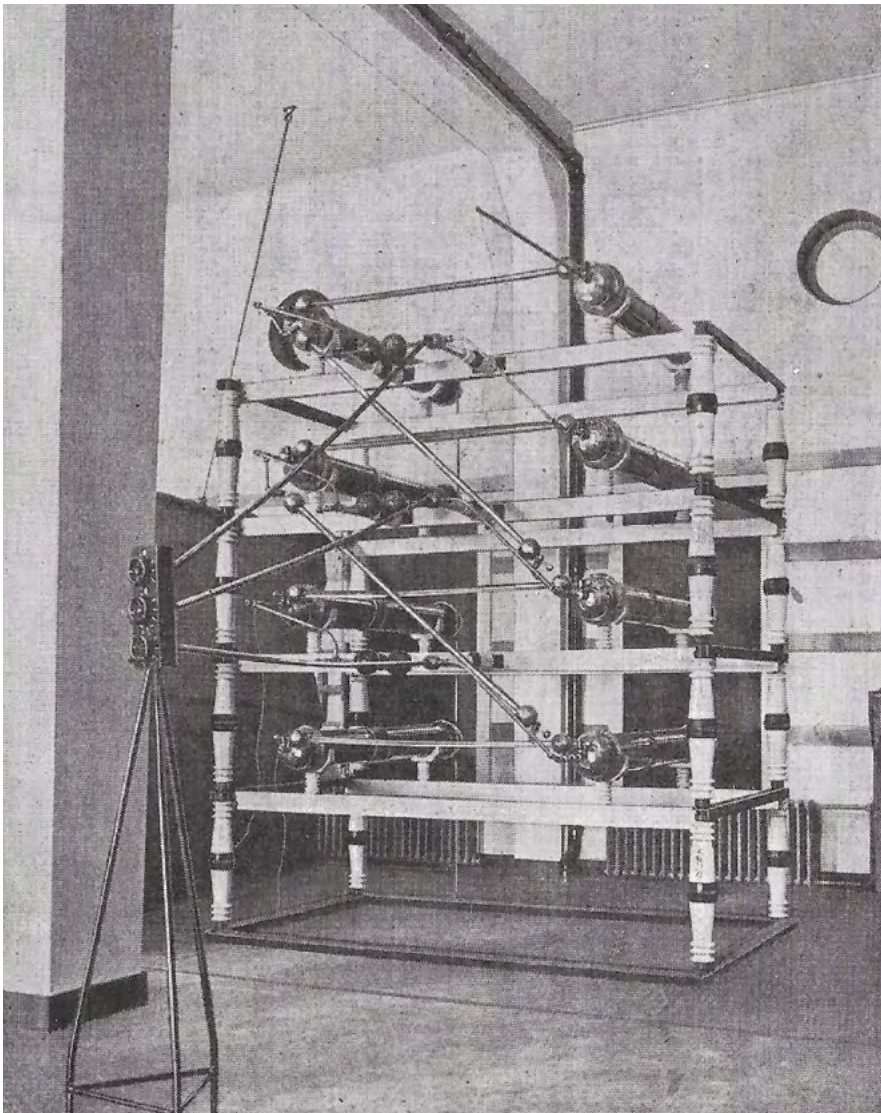


Bild 4: Stoßprüfanlage für 1000 kV gegen Erde im großen Versuchsraum. Die Aufladung erfolgte mit einem 100 kV Transformator und wurde von einem zentralen Schaltpult aus gesteuert. Quelle: Technische Hochschule Braunschweig (Hg.): Die neuen elektrotechnischen Institute der Technischen Hochschule. Braunschweig 1929, S. 45.



Bild 5: Baustelle des Neubaus der elektrotechnischen Institute, die auf der Basis eines modernen Eisenbetongerüsts gebaut wurden. Quelle: elenia Institut.

Insbesondere die Hochspannungstechnik, aber auch die Institute für elektrischen Maschinen (Prof. Unger) und Fernmeldetechnik (Prof. Pungs) verlangten Platz für Kabel, Elektromotoren, Meßgeräte, Transformatoren, Maschinen und Großversuche z.T. auch im Freien mit den entsprechenden Versuchsfeldern und Sicherheitsvorkehrungen. Die neue Hochspannungshalle umfasste eine Höhe von 14 Metern. Die drei Institute waren durch Kabelstränge miteinander verbunden, konnten aber zugleich unabhängig agieren und waren jeweils mit Werkstätten, Arbeitsplätzen und Bibliothek ausgestattet. Der Hörsaal war in den Versuchsraum integriert und erlaubte eine anschauungsorientierte praxisnahe Ausbildung. Das von Erwin Marx in mehreren Auflagen herausgebrachte Lehrbuch *Hochspannungspraktikum* basiert ganz wesentlich auf seiner Lehrtätigkeit im neu eingerichteten Hochspannungsinstitut.¹⁴

Der Neubau der elektrotechnischen Institute steht symbolisch für die damalige Aufbruchsstimmung bis zum Ausbruch der Weltwirtschaftskrise im Oktober 1929. In diesem nach Krieg und Inflationskrise günstigen Zeitfenster gelang es der TH Braunschweig, ein zukunftsweisendes Programm der Elektrotechnik zu realisieren. Im Zuge dieses systematischen Ausbaus wurde die elektrotechnische Abteilung 1926 aus dem Bereich des Maschinenbaus herausgelöst und mit Erwin Marx als erstem Vorstand eigenständig.



Bild 6: Große Versuchshalle, 1929, Quelle: elenia Institut.

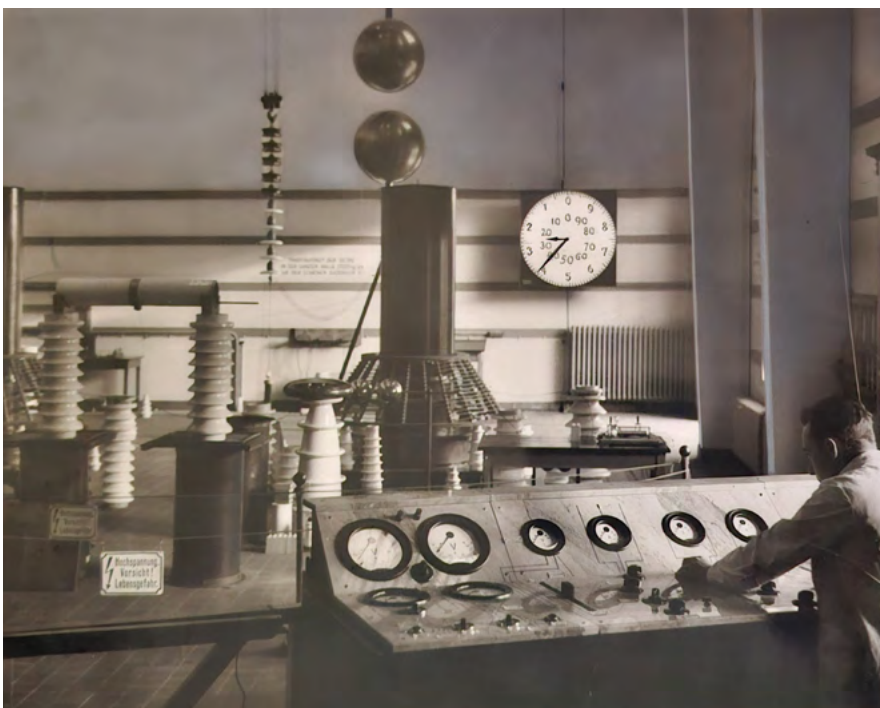


Bild 7: Schaltpult mit Tesla-Trafo, große Versuchshalle 1929. Quelle: elenia Institut.

Diese Aufbruchsstimmung zeigt sich auch an der Gründung des Braunschweiger Bezirksvereins des Verbandes Deutscher Elektrotechniker (VDE), dessen erster Vorsitzender ebenfalls Erwin Marx war.¹⁵

Am 15. Februar 1929 war es dann soweit, die neuen Institute wurden unter großer öffentlicher Anteilnahme eingeweiht. Prominenz aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik war eingeladen, u. a. der Nobelpreisträger Max von der Laue (1879–1960).¹⁶ Die gut vorbereitete und prominent besuchten Institutseröffnung im Jahr 1929 bestand aus einem mehrtägigen Festakt und Kulturprogramm mit Bankett, Theaterbesuch, öffentlichen Vorträgen, Institutsbesichtigungen und einer Busfahrt nach Wolfenbüttel in die Herzog-August-Bibliothek. Die Feierlichkeiten waren an das Lessingjahr gekoppelt, auch um Kultur und Technik enger miteinander zu verbinden – eine für die damalige Zeit charakteristische Strategie, um für mehr gesellschaftliche Anerkennung der Berufsgruppe der Ingenieure zu werben.¹⁷ Mit Stolz wurden die sehr gut ausgestatteten Institute präsentiert und als „einzigartig in Deutschland“ gepriesen. Die Braunschweigische Landeszeitung titelte „Festtag für die Carolo-Wilhelmina“:

„Namentlich das Institut für Hochspannungstechnik besitzt Einrichtungen, die vielleicht sogar in der ganzen Welt einzig dastehen, so daß unsere altherwürdige Hochschule, die unter den technischen Hochschulen Deutschlands, was den Besuch angeht, ziemlich an letzter Stelle rangierte, mit einem Schlage, was neuzeitliche Einrichtung betrifft, an die erste Stelle gerückt ist.“¹⁸

Erwin Marx und seine Mitarbeitenden führten im Rahmen der Institutsfeierlichkeiten spektakuläre sinnlich hör- und fühlbare Hochspannungsexperimente von bis zu „2 Millionen Volt“ durch. Die Erzeugung von elektrischen Funken, Blitzen, Stromstößen und Überschlügen sorgten für öffentliches Staunen und Bewunderung. Der Ingenieur und Wissenschaftler wurde als Zauberer an den Schaltpulten der Technik inszeniert, der die geheimnisvolle Wirkung der Elektrizität steuerte und kontrollierte.¹⁹

Marx erhoffte sich von der Etablierung eines zukünftigen europäischen „Großkraftnetzes“ auf Gleichstrombasis ein preisgünstiges, einfaches und robustes System mit hohem Wirkungsgrad. So sollte in Zukunft billige Energie aus Wasserkraftanlagen in Norwegen die Elektrifizierung der Haushalte, der Bahn und vor allem auch die Versorgung einer stromintensiven Großindustrie in Deutschland ermöglichen.²⁶

Erwin Marx als Schlüsselfigur der nationalsozialistischen Rüstungsforschung

Mit der Ausrichtung auf einen autarken Wehrstaat (Maier) stießen die Braunschweiger Forschungsansätze auf dem Gebiet der Hochspannungstechnik auf großes rüstungspolitisches und militärisches Interesse.²⁷ Die bereits in der Weimarer Republik auch international diskutierten Pläne eines europäischen Hochspannungs-Gleichstromnetzes wurden nun unter völlig anderen machtpolitischen Vorzeichen einer nationalsozialistischen Rüstungs- und Autarkiepolitik massiv gefördert.²⁸ Die Übertragung großer Mengen an elektrischer Energie, wie sie nach der Besetzung Norwegens dann auf der Basis von Wasserkraft möglich schien, machte Marx HGÜ-Pläne für stromhungrige kriegswichtige Produktionsbereiche wie der Ammoniaksynthese, der Produktion von Leichtmetallen, synthetischem Kautschuk und Benzin unmittelbar relevant für die Kriegswirtschaft. Auch die Möglichkeit, das Hochspannungsnetz zu verkabeln und damit gegen Luftangriffe abzusichern, spielte bei der Förderung der Forschung zur HGÜ-Fernübertragung durch das Reichsluftfahrtministerium eine Rolle.

Erwin Marx war entgegen seiner späteren Äußerungen im Entnazifizierungsverfahren zweifelsohne ein Anhänger und Vertreter des Nationalsozialismus. Dafür spricht seine Mitgliedschaft in der SA im Herbst 1933, der NSDAP im Jahr 1937 und auch zahlreichen weiteren NS-Organisationen.²⁹ Als Mitglied des Senats der TH Braunschweig zog er im Kontext des bitter geführten Braunschweiger Hochschulstreits 1933 seine Unterschrift für eine Solidaritätsbekundung des an der TH Braunschweig durch Nationalsozialisten bedrohten und

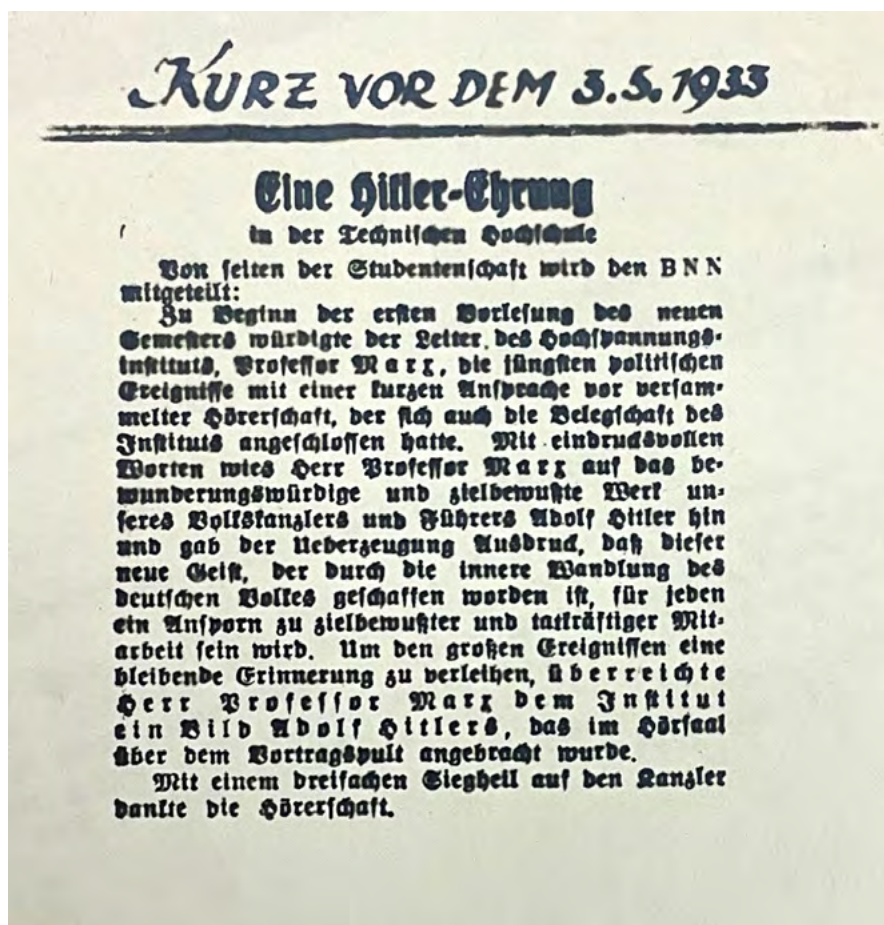


Bild 9: Erwin Marx überreicht dem Institut für Hochspannungstechnik zu Semesterbeginn 1933 ein Adolf Hitler Bild für den Hörsaal. Quelle: Braunschweiger Neueste Nachrichten, in: UABS B7 374, Mai 1933 fol. 220.

schließlich aus dem Amt als Rektor gedrängten Gustav Gassner (1881–1955) zurück.³⁰ Er zeigte sich zu mehreren Anlässen als überzeugter Nationalsozialist und Vertreter des Regimes.³¹ Auch die Gründung des sogenannten „Außeninstituts“ der TH Braunschweig im Jahr 1936, dessen erster Vorsitzender Erwin Marx war, stand im Zeichen einer engen Verknüpfung der nationalsozialistischen Ideologie mit der TH Braunschweig.³²

Der Hochspannungstechniker machte nicht nur aufgrund seiner in der Hochschulöffentlichkeit bekundeten Sympathien für den Nationalsozialismus, sondern vor allem aufgrund seiner technikknowledge, wissenschaftlichen Karriere im Dritten Reich.³³ Er stieg 1937 zum wichtigsten Elektrotechniker im Reichsforschungsrat auf und hatte damit enormen wissenschaftspolitischen Einfluss im NS-System. Im Reichsforschungsrat war er reichsweit als Fachspartenleiter Elektrotechnik zuständig für 55 elektrotechnische Institute und übersah die Forschung und Entwicklung

kriegswichtiger elektrotechnischer Geräte für die Wehrmacht, wie etwa Abstandzünder, Radargeräte, Hochfrequenzgeräte und Störsender etc. Er war ein wichtiger *Multi-funktionsträger im NS-Wissenschaftsbetrieb* (Flachowsky) weit über sein eigenes Arbeitsgebiet hinaus, der einzelnen Akteure und Institute miteinander vernetzte und kriegswichtige Innovationen und Gemeinschaftsarbeit beförderte.³⁴

Der Braunschweiger Hochspannungstechniker erhielt Fördersummen im Millionenbereich zum Ausbau einer Versuchsanlage von der DFG und vom Reichsamt für Wirtschaftsausbau, das die Ziele des Vierjahresplanes im Bereich der Forschung koordinierte. Diese enge ideologische, fachliche und wissenschaftspolitische Einbindung ins nationalsozialistische Herrschaftssystem wurde lange vom technischen Wirken Erwin Marx getrennt und ausgeblendet. Erst die quellensättigte Dissertation von Helmut Maier Anfang der 1990er Jahre hat seine Schlüsselrolle im NS-Rüstungssystem aufgearbeitet. Die Kriegs-

Fazit: Kontinuitäten und Wandel der Forschungstraditionen

Marx-Schüler

Trotz eines zeitweiligen Berufsverbots begründete der vielfach ausgezeichnete und international renommierte Braunschweiger Hochspannungsexperte von 1925 bis 1961 eine Ära mit zahlreichen Schülern, 84 betreuten Dissertationen, 50 Publikationen, ca. 90 Patenten und allein in den Jahren bis 1945 71 erfolgreichen DFG Anträgen.³⁹ Der jahrzehntelange Einfluss, den Erwin Marx auf Forschung und Lehre ausübte, zeigt sich insbesondere an personellen Kontinuitäten, die weit in die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts hineinreichen. Der aus dem türkischsprachigen Derbent/Aserbaidschan (Russland) stammende Adil Erk (1915–2003) beispielsweise studierte mit dem Krieg 1940 bis 1942 Elektrotechnik an der TH Braunschweig und promovierte mit einer Arbeit zur Gleichstrom-Übertragungsanlage Lehrte-Misburg. Erk war seit 1961 mit der Tochter von Erwin Marx verheiratet und von 1969 bis 1980 Professor für elektrische Starkstromanlagen und Energietechnik an der TU Braunschweig.⁴⁰

Am 1. Januar 1968 entstand unter seiner Leitung das neue Institut für Elektrische Energieanlagen.⁴¹ Auch der aus Meiningen stammende und in der Industrie u. a. für Siemens als Vorstand tätige Prof. Dr. Ing. Karl Brinkmann (1911–2005) war Marx Schüler. Er hat 1930 bis 1935 Elektrotechnik in Braunschweig studiert, mit einer Arbeit über „Kondensatorumformer mit funkenfreier Umschaltvorrichtung“ promoviert und sich Anfang der 1950 Jahre an der TH Braunschweig habilitiert. Er war mit dem Institut über 50 Jahre als Lehrbeauftragter mit seiner Vorlesung „Elektrische Energiewirtschaft und Kraftwerke“ eng verbunden. Er hat zudem über 25 Jahre ein Verbundforschungsprojekt zur elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) biologischer Systeme geleitet. Diese Forschungsrichtung ermöglichte Mit-

te der 1990er Jahre die Neuberufung von Professor Achim Enders (1957–2024) mit der Institutsgründung für Elektromagnetische Verträglichkeit. Geschickt wurde damit Sparzwängen von Seiten des Landes begegnet, die zur neuerlichen Fusion der seit 1968 getrennten Institute für Hochspannungstechnik und Energieanlagen führte.⁴²

Versuchsanlage-Hallendorf (1962–2007)

Für den Forschungs- und Lehrbetrieb spielte diese Versuchseinrichtung eine wichtige Rolle. Mit der Berufung Dieter Kinds als Nachfolger von Erwin Marx gelang es 1962, diese Anlage in Besitz des Landes Niedersachsen zu bringen und den Versuchsbetrieb wieder aufzunehmen. Jürgen Salge, der ebenfalls in den 1950er Jahren Elektrotechnik an der TH Braunschweig studiert und 1963 noch bei Erwin Marx mit einer Arbeit „Über die Wanderung von Hochstromlichtbögen in engen Spalten bei Unterdruck“ promoviert hatte, war von Anfang 1972 bis zu seiner Emeritierung Leiter der Außenstelle Hallendorf und hat hier u. a. plasmaphysikalische Forschungen durchgeführt.⁴³ Diese basierten auf einer langjährigen Kooperation mit dem Kernforschungszentrum Jülich im Kontext der Forschungen mit dem Fusionsreaktor TEXTOR (1983–2014).⁴⁴ Insgesamt wurden in Hallendorf mehr als 40 Dissertationen mit großem Erfolg durchgeführt. Im Rahmen von neuerlichen Sparmaßnahmen durch das Land Niedersachsen wurde die jahrzehntelang im Forschungs-

betrieb verwendete Anlage 2007 aufgeben und verkauft.

Dieter Kind und die Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Die prägende Figur Dieter Kinds steht für Kontinuität und Wandel zugleich. Erwin Marx kooperierte anfangs eng mit seinem Nachfolger, mit dem er mehrere Patente anmeldete und seine Expertise in der Hochspannungs-Lichtbogentechnik nun zur Entwicklung neuartiger ölärmer Leistungsschalter einbrachte. Während Halbleiterschalt Elemente als hochspannungstechnische Basistechnologie Quecksilberdampf-Gleichrichter ablösten, hat Kind die Forschung neu ausgerichtet in Richtung Prüftechnik und organische Isolierstoffe. Mit seinem Weggang als Präsident der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt im Jahr 1975 hat Kind nicht nur die Kooperation mit der Bundesanstalt intensiviert und ausgebaut. Er blieb dem Institut zudem als Honorarprofessor weiterhin verbunden. Professor Salge hatte bereits die plasmaphysikalische Forschung in Kooperation mit der KFA-Jülich übernommen und bis zu seinem Ruhestand (1996) vorangetrieben. Die Nachfolge von Professor Kind trat 1986 Professor Kärner (1932–2016) an. Er hat bis in das Jahr 1998 die Forschung in den Bereichen Feststoffisolation, Überspannungsschutz und Vakuum-Hochspannungstechnik entscheidend vorangetrieben.



Bild 11: Das stark besetzte elenia Institut in den 1990er-Jahren



Bild 12: International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum 30.08. – 03.09.2010, Braunschweig

In der Lehre baute er den Bereich der elektromagnetischen Verträglichkeit auf. Nach der Wiedervereinigung zum Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen übernahm Professor Lindmayer 1998 die Leitung. Er führte bereits die plasmaphysikalische Forschung von Professor Salge fort und brachte vor allem die stark ausgebaute Kompetenz in den Bereichen Niederspannungs- und Vakuum Schaltgeräte mit ein. Die Hochspannungstechnik wurde von Professor Stietzel weitergeführt, der leider viel zu früh verstarb.

Eine neue Forschungstradition: dezentrale Energieerzeugung, Elektromobilität und Netzausbau

Eine neue Forschungsrichtung schlugen die beiden Institutsleiter, seit 2001 Professor Michael Kurrat als Nachfolger von Professor Kärner und seit 2011 Professor Bernd Engel, ein. Sie knüpften einerseits an klassi-

sche Fragestellungen der Hochspannungstechnik und bestehende Schwerpunkte an, orientierten sich aber an den neuen technischen, wirtschaftlichen und auch gesellschaftlichen Herausforderungen und Möglichkeiten, die die energiepolitische Wende hin zu erneuerbaren Energien mit sich brachte. Bereits in studentischen Arbeiten der 1990 Jahre zeichneten sich diese neuen Forschungstrends ab, nachdem jahrzehntelang die zentrale Energieversorgung auf Basis von fossilen Energieträgern und auch Atomstrom im Fokus standen. Diese Neuausrichtung auf nachhaltige Energiesysteme und Elektromobilität führte in der Folge zu einer erfolgreichen Expansion des Instituts mit einer wachsenden Zahl an Mitarbeitenden, Promotionen und auch Drittmitteln.⁴⁵ Gleichzeitig spannt sich mit den technikwissenschaftlichen Fragestellungen des Netzausbaus und der energiepolitischen Fokussierung auf erneuerbare Energien der Bogen erneut zum Thema der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung, das bereits die visionären Arbeiten von Erwin Marx in den 1930 Jahren bestimmte.⁴⁶

Hier schließt sich der Kreis mit dem Dieter-Kind-Promotionspreis, den Herr Dr.-Ing. Harro Lührmann in dankbarer Erinnerung an seinen Doktorvater gestiftet hat.

In dieser Kürze der Darstellung der jüngeren Institutsgeschichte wird bereits offenkundig, dass dies als ein erster Ansatz anzusehen ist. Hier ist eine weitergehende Aufarbeitung erforderlich. Dazu rufen wir alle Ehemaligen und Partner auf, sich an dieser Aufarbeitung mit einzubringen. Geplant ist ein Workshop, zu dem wir in 2026 einladen werden. Darüber hinaus bietet das Alumni*ae-Netzwerk der TU Braunschweig vielfältige Möglichkeiten zur Vernetzung von Ehemaligen.

*Spontane Beiträge zur Instituts-
geschichte sammeln wir gerne per
Email über unsere Adresse:*

symposium-elenia@tu-braunschweig.de

Quellenangabe

- 01** Ich danke Nelly Gorkow, Annabella Sartison, Prof. Kurrat, Prof. Engel und Prof. Maier sowie mehreren Zeitzeugen für ihre hilfreiche Unterstützung und Informationen.
- 02** Marx, Erwin: Hochspannungspraktikum. Berlin 1941; Brinkmann, Karl: Einführung in die elektrische Energiewirtschaft. Studienbuch für Elektrotechniker, Maschinenbauer, Verfahrenstechniker, Wirtschaftsingenieure und Betriebswirtschaftler im 2. Studienabschnitt. Braunschweig 1971; Kind, Dieter: Einführung in die Hochspannungs-Versuchstechnik. Lehrbuch für Elektrotechniker. Braunschweig 1972; Erk, Adil; Schmelzle, Martin: Grundlagen der Schaltgerätetechnik. Kontaktglieder u. Löscheinrichtungen elektr. Schaltgeräte d. Energietechnik. Berlin, Heidelberg, New York 1974.
- 03** Zumindest einige Chroniken und Erinnerungsrückblicke beziehen sich auf dieses Datum: Technische Hochschule Braunschweig (Hg.): Reden anlässlich der Festversammlung zur 25-Jahr-Feier der Institute der Abteilung für Elektrotechnik am 28. Mai 1954. Braunschweig 1954.
- 04** Horn, Wolfgang: 100 Jahre Lehrstuhl für Elektrotechnik an der TU Braunschweig. Professor Wilhelm Peukert — Braunschweigs Pionier der Elektrotechnik; Dokumentation. Braunschweig 1990.
- 05** Ansprache von Herrn Professor Dr.-Ing. Kind zur Institutsübergabe am 1.7.1977, Jahresbericht des Instituts für Hochspannungstechnik. Braunschweig 1977, S. 4. Im darauffolgenden Jahr 1978 feierte das Institut dann seine 50-Jahrfeier. Vgl. Jahresbericht des Instituts für Hochspannungstechnik. Braunschweig 1978, S. 3.
- 06** Goeschel, Heinz: Dem Lehrer und Forscher Erwin Marx zum 70. Geburtstag. Ausgabe A Sonderheft. In: ETZ 84 (1963) 4, S. 97–98. Maier, Helmut: Erwin Marx (1893–1980), Ingenieurwissenschaftler in Braunschweig, und die Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der elektrischen Energieübertragung auf weite Entfernungen zwischen 1918 und 1950. Stuttgart 1993; Kertz, Walter; Albrecht, Peter (Hg.): Technische Universität Braunschweig. Vom Collegium Carolinum zur Technischen Universität; 1745–1995. Hildesheim, Zürich, New York 1995, S. 345–367.
- 07** Eckhoff, Regina: Das Frauenstudium an der TH Braunschweig vom Kaiserreich bis 1933. Unter Mitarbeit von Universitätsbibliothek Braunschweig. Braunschweig 1992, S. 68.
- 08** Reichspatent von Marx, Erwin: Bekanntmachung über die Erteilung des Patents: 26. Januar 1928. Ing. Erwin Marx in Braunschweig. Verfahren zur Schlagprüfung von Isolatoren und anderen elektrischen Vorrichtungen. Patentiert im Deutschen Reich vom 12. Oktober 1923. Anmeldenr: 455993; Erwin Marx, „Versuche über die Prüfung von Isolatoren mit Spannungsstößen“, in: Elektrotechnische Zeitschrift (1924), 25, S. 652–654.
- 09** Die Zahl der Studienanfänger der TH verdreifachte sich nahezu in kurzer Zeit von 400 auf über 1160 fast, insbesondere in den stark nachgefragten Fächern des Maschinenbaus, der Chemie und der Elektrotechnik.
- 10** Gundler, Bettina: Zwischen Stagnation und Aufbruch. Der Erste Weltkrieg und die Entwicklung der TH Braunschweig in der Weimarer Republik. In: Walter Kertz und Peter Albrecht (Hg.): Technische Universität Braunschweig. Vom Collegium Carolinum zur Technischen Universität; 1745–1995. Hildesheim, Zürich, New York: 1995, S. 345–367.
- 11** Universitätsarchiv Braunschweig, USABS A1-64, Schreiben Dr. Ing. Georg Meinhardt an Prof. Unger 14.2.1925.
- 12** Die Baukosten beliefen sich auf 620.000 RM, hinzu kamen Kosten für die Instrumente und Ausstattung, die von der Industrie und der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft gedeckt wurden.
- 13** Pump-Uhlmann, Holger: Vom Bildungspalast zum Forschungslaboratorium. Hochschulbauten und -planungen als Spiegel wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Wandels — dargelegt am Beispiel der Technischen Universität Braunschweig 1745–1995. Delft, Techn. Univ., Diss., 1997, S. 117.
- 14** Marx, Erwin: Hochspannungspraktikum. Berlin 1941.
- 15** Schütte, Hans Günther: Geschichte des VDE in Braunschweig, 1910–2000. Braunschweig 2001.
- 16** Max von Laue spielte nach Kriegende im Jahr 1945 eine wichtige Rolle für den Forschungsstandort Braunschweig, als es darum ging, die ehemalige Physikalisch Technische Reichsanstalt von Berlin nach Braunschweig zu holen.
- 17** Dietz, Burkhard u. A. (Hg.): Technische Intelligenz und „Kulturfaktor Technik“. Kulturvorstellungen von Technikern und Ingenieuren zwischen Kaiserreich und früher Bundesrepublik Deutschland. Münster, München, Berlin 1996.
- 18** Braunschweigische Landeszeitung, 14. Februar 1929.
- 19** „Freudentage in der Carolo-Wilhelmina“, in: Braunschweigische Landeszeitung 12. Februar 1929; „Im Reich der 2 Millionen Volt“, in Braunschweiger Neueste Nachrichten 13.2.1929.
- 20** Wie die Institutschronik zeigt bestand dieses Team im Jahr 1929 aus 11 Personen, vier Doktoranden, zwei Diplomanden, zwei Assistenten, zwei Mechaniker Lehrlingen und einem Schlosser.
- 21** Marx, Erwin: Aufgaben und Ziele der Hochspannungselektronik. Vorgetragen im Braunschweiger Bezirksverein des Vereins Deutscher Ingenieure, in: Z-VDI (1927) 38, S. 1323–1325, hier S. 1325.
- 22** Kloss, Albert: Auf den Spuren der Leistungselektronik. Erfinder und Erfindungen der Stromrichtertechnik. Berlin, Offenbach 1990, S. 139–140; Mom, Gijs: The electric vehicle. Technology and expectations in the automobile age. Baltimore 2013.
- 23** Maier, Helmut: Die Bedeutung von Erwin Marx (1893–1980) Braunschweig für die Technik der elektrischen Energieübertragung seit 1930. In: Referate beim Workshop zur Geschichte der Carolo-Wilhelmina am 3. Juli 1989 (Projektberichte zur Geschichte der Carolo-Wilhelmina, 5), 1989, S. 67–81, S. 75; Wetzel, Peter R.: Die Geschichte des Quecksilberdampf-Gleichrichters bei BBC Deutschland 1913–1963. Stuttgart, Univ., Diss., 2001.

- 24** Kind, Dieter: Erwin Marx und sein Beitrag zur Entwicklung der Hochspannungs-Gleichstromübertragung von 1930 bis 1945. Vorveröffentlichung aus Abhandlungen der. Braunschweig 2013, S. 6.
- 25** Marx, Erwin: Lichtbogen-Stromrichter für sehr hohe Spannungen und Leistungen. Berlin, Heidelberg 1932, S. iii.
- 26** Ebd., S. 161.
- 27** Maier, Helmut: Forschung für den „autarken Wehrstaat“. Technische Hochschulen im „Dritten Reich“. In: Noyan Dinçkal, Christof Dipper und Detlef Mares (Hg.): Selbstmobilisierung der Wissenschaft. Technische Hochschulen im „Dritten Reich“. Darmstadt 2010, S. 25–45.
- 28** So erhielt Erwin Marx für seine HGÜ-Großversuche vom Reichsamt für Wirtschaftsausbau, Reichsluftfahrtministerium und der DFG auch im Kriegs steigende Beträge von mehr als 6 Mio. RM. Vgl. Maier, Erwin Marx, S. 311.
- 29** Maier, Erwin Marx, S. 25.
- 30** Weßelhöft, Daniel: Von fleißigen Mitmachern, Aktivisten und Tätern. Die Technische Hochschule Braunschweig im Nationalsozialismus. Unter Mitarbeit von Hans-Ulrich Ludewig. Hildesheim, Zürich, New York, NY 2012, S. 319.
- 31** Er hielt Vorlesungen in SA-Uniform, im Sommersemester enthüllte er im Hochspannungsinstitut ein Adolf Hitler Bild mit den Rufen „Sieg Heil“. 1936 eröffnet er das Außeninstitut zusammen mit Ludwig Klagges und beendete die Veranstaltung mit einem Gedenken an den Führer. 1939 hielt er im Rahmen einer Reichsfeier eine Lobrede auf den Führer und verfasste einen Beitrag über Hochspannungstechnik anlässlich des 50jährigen Geburtstags Adolf Hitlers. Marx, Erwin: Hochspannung, elektrische Anlagen, Maschinen. In: Deutsche Wissenschaft. Arbeit u. Aufgabe. (Dem Führer u. Reichskanzler legt die Deutsche Wissenschaft zu S. 50. Geburtstag Rechenschaft ab über ihre Arbeit im Rahmen der ihr gestellten Aufgabe). Leipzig 1939, S. 239–240. Er trat im besetzten Polen als Vertreter des Besatzungsregimes auf und hielt 1944 im Generalgouvernement, Warschau und Krakau Vorträge.
- 32** Ziel dieser Einrichtung für Wissenschafts- und Technikkommunikation war es, durch öffentliche Vortragsreihen die Arbeit der Forschungsinstitute und Professoren der TH Braunschweig nach außen hin zu vermitteln und einem städtischen Publikum „volkstümlich“ zu vermitteln. UABS A 1 223, fol. 32, „Die volkstümliche Abteilung unserer Carolo-Wilhelmina“, in: Braunschweiger Neueste Nachrichten, Nr. 285, vom 5./6.12.1936.
- 33** Weßelhöft, Von fleißigen Mitmachern, Aktivisten und Tätern, S. 317–320.
- 34** Flachowsky, Sören: Von der Notgemeinschaft zum Reichsforschungsrat. Wissenschaftspolitik im Kontext von Autarkie, Aufrüstung und Krieg. Teilw. zugl.: Berlin, Humboldt-Univ., Diss., 2005. Stuttgart 2008, S. 19.
- 35** Kind, Dieter: Erwin Marx und sein Beitrag zur Entwicklung der Hochspannungs-Gleichstromübertragung von 1930 bis 1945. Braunschweig 2013, S. 9–10, Maier, S. 181ff.
- 36** Adil Erk, Untersuchung einer Gleichstrom-Hochspannungsanlage für 80kV und 16 000 kW mit einer Lichtbogen-Hochdruckanlage. Dissertation, eingereicht am 24.6.1944, verteidigt am 7.6.1946.
- 37** UABS A1 275 Aktennotiz Prorektor vom 11.12.1948, fol. 82.
- 38** Quelle: elenia Institut, Ordner Institutsgeschichte.
- 39** Vgl. Gepris-historisch, Erwin Mary: <https://gepris-historisch.dfg.de/person/5107798> (zuletzt eingesehen am 21.07.2025).
- 40** Adil Erk hatte an der TH sowohl promoviert als auch habilitiert und war seit 1958 als Dozent und dann als außerordentliches Professor tätig. Da er nach Kriegsende bei der Firma Oerlikon in Zürich und auch bei Calor Emag in Ratingen tätig war, wurde dessen Berufung nicht als Hausberufung gewertet.
- 41** Prof. Dr. Ing. Manfred Lindmayer war bis 1981 bis 1996 Nachfolger von Professor Erk.
- 42** Brinkmann, Karl; Kärner, Hermann, Schäfer Hans (Hg.): Elektromagnetische Verträglichkeit biologischer Systeme in schwachen 50-Hz-Magnetfeldern. Berlin, Offenbach 1995 (Elektromagnetische Verträglichkeit biologischer Systeme, Bd. 4).
- 43** Jürgen Salge studierte von 1953 bis 1958 Elektrotechnik an der TH Braunschweig und legte 1958 sein Diplom ab. Im selben Jahr begann er als wissenschaftlicher Assistent am Inst. f. Hochspannungstechnik u. elektrische Anlagen. Mit seiner Promotion 1963 wurde er zum Oberingenieur ernannt. 1966 avancierte er zum Kustos (bzw. Aka. Rat), 1969 zum Akademischen Oberrat. Seine Habilitation legte er 1971 ab (Venia legendi für Hochspannungstechnik). Am 26.10.1971 stimmte der Senat zu, Salge zum Abteilungsvorsteher und Professor am Inst. f. Hochspannungstechnik zu ernennen und mit der Leitung der Abt. „Hochspannungstechnologie“ zu beauftragen. (Protokoll der Senatssitzung 27. Okt. 1971).
- 44** Im Institut für Plasmaphysik der Kernforschungsanlage Jülich wurden im Rahmen des Großexperiments TEXTOR Plasma-Wand-Wechselwirkungsprobleme der kontrollierten Kernfusion erforscht. Im Rahmen der Zusammenarbeit mit dem Institut für Plasmaphysik der Kernforschungsanlage Jülich wurde der Magnetisierungsschaltkreis für TEXTOR und der Grundentwurf der Schaltung mit den jeweiligen Komponenten durch das Institut für Hochspannungstechnik der TU Braunschweig entworfen.
- 45** Die Expansion des Lehr- und Forschungsbetriebes zeigt sich an der Zahl der wissenschaftlichen Mitarbeitenden, die von 15 im Jahr 2001 auf 53 im Jahr 2023 anstieg. Quelle: elenia Institut.
- 46** Der seit 2011 geführte Name *elenia Institut* basiert auf einer neuerlichen Fusion der seit 1968 getrennten Institute für elektrische Energieanlagen und für Hochspannungstechnik im Jahr 1996 und der programmatischen Neuausrichtung auf dezentralen Netzausbau, Energietechnologien und Elektromobilität im Zeichen der Energiewende, die mit den Berufungen der Professoren Kurrat 2001 und Engel 2011 vollzogen wurde.





Teamberichte

Team Batterietechnik	46
Team DC-Systeme und Schaltgeräte	52
Team Energiemanagement, Energiesystemmodellierung und Energiewirtschaft ..	58
Team Hochspannung, Vakuum- und Plasmatechnik	62
Team Netzdynamik und Systemstabilität	66
Team Netzbetrieb und Netzplanung	72

Team Batterietechnik

Merit Holdorf, Mara Luisa Hiller, Cedric Jackmann, Oliver Landrath,
Andreas Laufer, Marvin Nebelsiek, Julius Rieckmann, Anna Rollin.



Elektromobilität ist eine Schlüsseltechnologie für eine erfolgreiche Energiewende und profitiert wesentlich von der kontinuierlichen Weiterentwicklung aufladbarer Batteriezellen.

Batteriezellen sind nicht nur für Elektrofahrzeuge von zentraler Bedeutung, sondern finden auch in zahlreichen anderen Bereichen Anwendung. Neben Consumer Electronics wie Smartphones, Laptops und Tablets sowie tragbarer Medizintechnik kommen sie in stationären Energiespeichern, industriellen Anlagen und in der Luftfahrt zum Einsatz.

Die Forschung an Batteriezellen konzentriert sich auf die Erhöhung der Energiedichte, Verlängerung der Lebensdauer und Verbesserung der Sicherheit. Fortschrittliche Elektrodenmaterialien für Lithium-Ionen-Zellen und alternative Batterietechnologien, wie Festkörper- oder Natriumbatterien, tragen dazu bei, die Leistungsfähigkeit moderner Energiespeicher zu optimieren. Computergestützte Simulationsverfahren

und maschinelles Lernen ermöglichen das Verhalten der Batteriezellen unter unterschiedlichen Betriebsbedingungen detailliert zu analysieren und gezielt Verbesserungen zu realisieren.

In der Batterietechnik spielt die Nachhaltigkeit eine immer größere Rolle. Umweltfreundliche Herstellungsverfahren und effektive Recyclingstrategien sind notwendig, um den gesamten Lebenszyklus der Batterie ökologisch zu optimieren.

Das elenia Batterieteam als Teil des Forschungszentrums „Braunschweig Labfactories for Batteries and more“

Das elenia ist Mitglied des Forschungszentrums „Braunschweig Labfactories for Batteries and more“ (BLB+), in dem der gesamte Wertschöpfungskreislauf von der Material-

und Elektrodenherstellung über die Zellfertigung bis hin zur Systemintegration und dem Recycling zur Schließung des Materialkreislaufer abgebildet wird.

Die BLB+ bündelt die Kompetenzen von insgesamt 14 Instituten der TU Braunschweig, der TU Clausthal, der Leibniz Universität Hannover, des Fraunhofer Instituts für Schicht- und Oberflächentechnik IST sowie der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt Braunschweig (PTB). In Abbildung 1 ist der Prozesskreislauf von Batteriezellen der BLB+ dargestellt. Die Entsprechende Forschungsbeiträge des elenia Batterieteam sind an den entsprechenden Prozessschritten mit dem elenia Logo hervorgehoben.

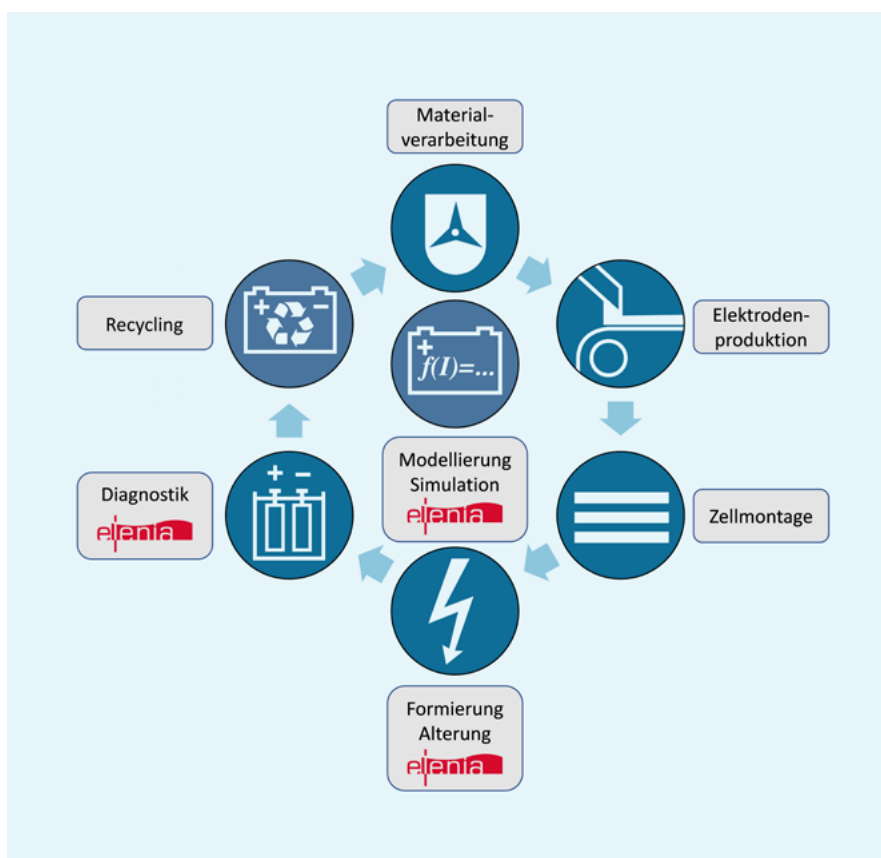


Abbildung 1: Forschungsbeiträge des elenia Batterieteam entlang des Prozesskreislaufs von Batteriezellen im Forschungszentrum „Braunschweig Labfactories for Batteries and more“

Nach der Materialverarbeitung, Elektrodenproduktion und Zellmontage erfolgt die elektrochemische Aktivierung der Batteriezellen, die den ersten Forschungsschwerpunkt des elenia Batterieteams darstellt. Dabei durchlaufen die Batteriezellen die ersten Lade- und Entladezyklen und es bildet sich unter Elektrolytzersetzung eine passivierende Schicht an der negativen Elektrode, die für die Funktionalität, Leistungsfähigkeit und Sicherheit einer Batteriezelle entscheidend ist. Die Formierung stellt aufgrund der langen Belegungszeit der Batterietestkanäle etwa ein Drittel der Produktionskosten dar. Das Batterieteam des elenia Instituts untersucht daher Strategien und modellbasierte Ansätze, um die Formierungszeit zu reduzieren und dadurch die Produktionskosten zu senken. Dabei muss sichergestellt werden, dass die Leistungsfähigkeit, das Alterungsverhalten sowie die Sicherheit der Batteriezellen durch die veränderte Formierung nicht negativ beeinflusst werden. Dafür führt das elenia unter anderem elektrochemische Charakterisierungen, Druck- (Gasbildung, externe Zellverspannung) und Temperaturuntersuchungen durch, was dem Forschungsbezug Diagnostik zugeordnet werden kann.

Ergänzend zur Qualitätssicherung der Zellproduktion, Erprobung innovativer Zellmaterialsysteme und der Bewertung von diesen mit recyceltem Elektrodenmaterial befasst sich das elenia mit operando-Methoden, um den Zellbetrieb so anzupassen, dass Degradationsmechanismen der Zellen minimiert oder sicherheitskritische Zustände rechtzeitig identifiziert werden.

Eine möglichst geringe Ladezeit ist neben Kosten, Sicherheit und Reichweite ein wichtiger Faktor für die gesellschaftliche Akzeptanz der Elektromobilität. Das elenia Batterieteam befasst sich daher mit der modellbasierten Herleitung von alterungsabhängigen Schnellladestrategien für Batteriezellen. Dafür werden zellmaterialsystemspezifische Betriebsgrenzen experimentell und modellbasiert entlang des Alterungszustands der Zellen ermittelt, und auf dessen Grundlage die Schnellladeprofile abgeleitet.

Um den Materialkreislauf in der Batterietechnologie schließen zu können, ist es erforderlich Batteriezellen zu recyceln, woraus sich eine Vielzahl von Forschungsfragen ableitet. Das Batterieteam des elenias erprobt dabei, wie groß der Einfluss von re-

cyceltem Elektrodenmaterial auf die Leistungsfähigkeit der Batteriezellen ist, und welche Komponenten, die beim Recyclingprozess in das recycelte Elektrodenmaterial gelangen können, einen negativen Einfluss auf die Zelleistung haben. Dadurch können Empfehlungen ausgesprochen werden, welche Stoffe bei der Materialaufbereitung entfernt werden sollten.

Erforschung alternativer Batterietechnologien: Lithium-Schwefel

Als Teil einer Forschungseinrichtung befasst sich das Batterieteam auch mit Alternativen zu bereits etablierten Batterietechnologien. Von Lithium-Schwefel-Batterien ist beispielsweise bekannt, dass sie über ein großes Potential verfügen. Sie werden mit einer theoretisch maximal erreichbaren gravimetrischen Energiedichte von rund 2500 Wh/kg beworben, auch wenn ebenfalls bekannt ist, dass selbst im Labor dieser Wert nicht annähernd erreicht wird. Neben der Energiedichte spielen aber auch Materialkosten und -verfügbarkeit sowie Umweltfreundlichkeit eine entscheidende Rolle, um zu den vielversprechenden Technologien gezählt zu werden. In diesen Punkten kann die Lithium-Schwefel-Batterie mit Schwefel und Kohlenstoff als Komposit für das Kathodenmaterial zusätzliche Argumente vorweisen. Diesen offensichtlich positiven Aspekten steht jedoch eine im Vergleich

zur Lithium-Ionen-Batterie sehr geringe Zyklenstabilität entgegen. Anodenseitiges Dendritenwachstum, das zu internen Kurzschlüssen führen kann, sowie ein rapider Kapazitätsverlust durch das Auflösen von Aktivmaterial, das an anderer Stelle zu Ausfällen führen kann, sind die größten Herausforderungen.

Im Rahmen des Forschungsprojektes FestPoLiS untersucht das elenia daher das Alterungsverhalten von Lithium-Schwefel-Batterien mit einem Feststoffelektrolyten. Dieser auf synthetische Polymere basierende Elektrolyt soll die Degradationsmechanismen hemmen. Die im Vergleich zu flüssigen Elektrolyten schlechtere Leitfähigkeit des Polymerelektrolyten wird mit funktionalisierten Nanopartikeln kompensiert.



Abbildung 2: Materialien in einer Lithium-Schwefel-Batterie

Graduiertenkolleg „CircularLIB“

Nach EU-Richtlinien muss in ab 2031 hergestellten Batterien ein prozentualer Anteil an recycelten Materialien enthalten sein. Eine Lithium-Ionen-Batterie besteht, anders als herkömmliche Blei-Säure-Batterien, aus vielen Komponenten. Beim Recycling vermischen sich die verschiedenen Komponenten während des Zerkleinerungsprozess (u. a. Aktivmaterial, Lithium, Gehäuse- und Ableiterteile). Zum Teil können die einzelnen Bestandteile nicht ohne weiteres zu 100 % Reinheit aufbereitet werden, sodass sich Kontaminationen einschleppen. Der Einfluss dieser Kontaminationen auf die Lebensdauer von Batterien wird am elenia untersucht. Das übergeordnete Ziel ist, eine Prognose entwickeln zu können. Welche Elemente sind kritisch, welche sind zu einem bestimmten Anteil tolerierbar? So können Hersteller ihre Recyclingeffizienz optimieren. Zusätzlich wird Aktivmaterial aus verschiedenen Resynthese-Verfahren

elektrochemisch evaluiert. Dabei werden thermische, mechanische und chemische Verfahren zur Aufreinigung von Graphit gegenübergestellt. Auch der Einfluss unterschiedlicher Anteile des re-synthetisierten Materials wird analysiert.

Indem mit verschiedenen Instituten zusammen gearbeitet wird, können größere Themenbereiche abgedeckt werden. Während das elenia kleinformatische Batteriezellen baut, stellen andere Institute das recycelte Material her und analysieren das Pulver mit verschiedenen optischen Analysegeräten. Gleichzeitig beinhaltet das Graduiertenkolleg eine disziplinäre und interdisziplinäre Ausbildung durch Qualifizierungsprogramme und ein strukturiertes Doktorandenprogramm der assoziierten Universitäten TU Clausthal und Leibniz Universität Hannover sowie das Fraunhofer Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST.

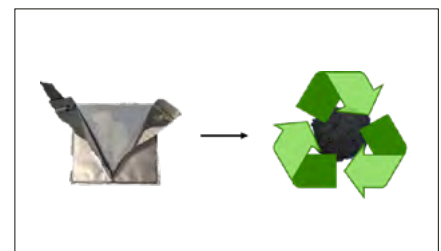


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Recyclings des Aktivmaterials aus einer gealterten und geöffneten Pouchzelle

Projekt PolySafe

Das Projekt **PolySafe** verfolgt einen Ansatz, mit dem die intrinsische Sicherheit durch innovative Metall-Polymer-Komposit-Stromkollektoren gesteigert wird. Das in den Stromkollektoren enthaltene Polymer erweicht bzw. schmilzt bei einem internen Kurzschluss, sodass der elektronische Leitpfad zerstört wird, was letztendlich das Ereignis lokal begrenzt und das thermische Durchgehen der gesamten Zelle verhindert. Zusätzlich erlaubt die Kombination von Metallschicht und Polymersubstrat einen Gewichts- und Dickenvorteile und damit den sparsamen Einsatz von Materialressourcen.

In dem Projekt wird unter anderem die Qualität und die Performance der Zellen, die auf Basis des Metall-Polymer-Komposit-Stromkollektors (Al@PET-CC) gefertigt wurden, im Vergleich zu den Zellen, die als Referenz einen Metall-Stromkollektor besitzen (Al-CC), analysiert. Die Untersuchung erfolgt unter anderem mithilfe des C-Ratentests, mit dem gezeigt werden konnte, dass die Zellvariationen bei Stromraten von 0,2C bis 3C über eine vergleichbare Entladekapazität verfügen.

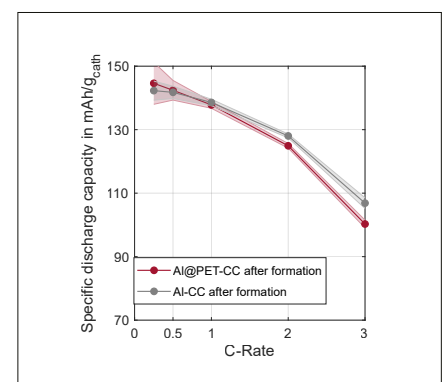


Abbildung 4: Vergleich der spezifischen Entladekapazitäten

Adaptive Schnellladestrategien – Modellbasierte Bewertung der Betriebsgrenzen verschiedener Zellsysteme zur Auslegung alterungsadaptiver Schnellladestrategien

Die Anforderungen an die Schnellladefähigkeit von Batteriezellen kommen aus der jeweiligen Anwendung, werden aber häufig durch das Materialsystem und Zelldesign limitiert. Hinzu kommt, dass sich die Zelleigenschaften durch die Batteriealterung verschlechtern. Insbesondere Schnellladevorgänge können dabei zu einer beschleunigten Alterung führen.

Deshalb werden die Betriebsgrenzen häufig sehr pessimistisch ausgelegt, um sicherheitskritische Prozesse und beschleunigte Alterungsvorgänge wie das Lithium-Plating zu vermeiden. Eine vielversprechende Alternative ist die Bestimmung von alterungsabhängigen Betriebsgrenzen zur entsprechenden Anpassung der Schnellladestrategie. Dieser Ansatz ist jedoch mit

Herausforderungen verknüpft, weil eine alterungsbedingte Anpassung der Betriebsgrenzen von nicht unmittelbar messbaren Zuständen des Material- und Zellsystems abhängt.

Das Projekt FastChargeLongLife adressiert diese Herausforderung und entwickelt eine Methodik für die modellgestützte Bewertung verschiedener Zellmaterialsysteme in Bezug auf die maximalen Lade-Betriebsgrenzen in Abhängigkeit des Alterungszustands. Zu diesem Ziel wird ein gekoppelter Modellansatz verwendet, welcher echtzeitfähige Ersatzschaltbild-Modelle und detaillierte physiko-chemische Degradationsmodelle miteinander verbindet (vgl. Abbildung 5). Dabei wird eine modellbasierte Skalierbarkeit der Materialdaten vor-

gesehen, um die Modellparameter von kleinen Zellformaten im 3-Elektroden-Format auf großformatige Pouch-Zellen zu übertragen. Auf Basis der modellbasiert ermittelten Betriebsgrenzen werden alterungsadaptive Schnellladestrategien abgeleitet, welche sicherheitskritische Degradationseffekte vermeiden. Dies wird für verschiedene Zellmaterialsysteme vorgenommen, welche dadurch hinsichtlich der alterungsabhängigen Schnellladefähigkeit miteinander verglichen werden können.

Durch die optimierten Schnellladestrategien konnte die Ladezeit und Lebensdauer, um mehr als 10% im Vergleich zu State-of-the-Art Schnellladestrategien ohne alterungsabhängige Anpassung verbessert werden.

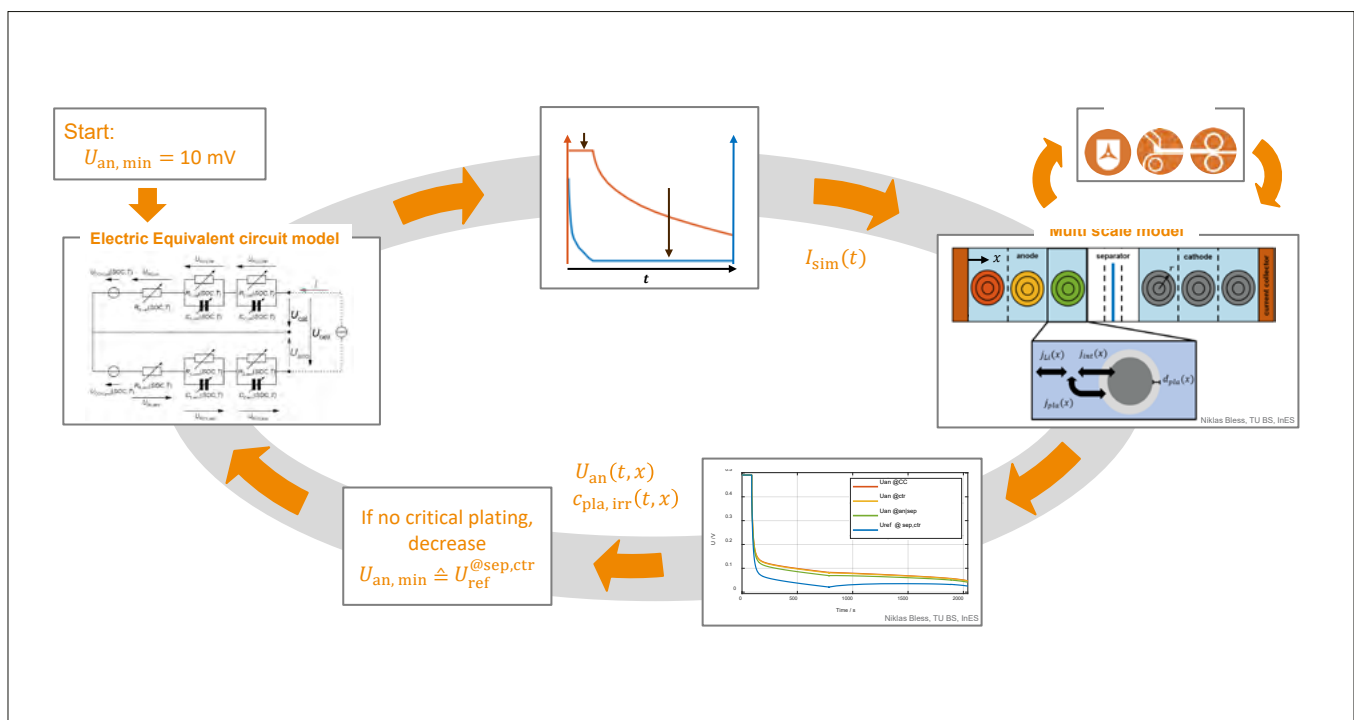


Abbildung 5: Modellkopplung zwischen Elektroden-Ersatzschaltbild-Modell und physikochemischen Modell



VDE BRAUNSCHWEIG



gratuliert zum Jubiläum

seit zehn Jahrzehnten gemeinsam verbunden

e-diale Zukunft

Neugierig?
Jetzt Mitglied werden:



DKE

VDE

- Mitgliederverein
- Fachverband
- Normungsorganisation
- Prüfstelle

Team DC-Systeme und Schaltgeräte

Dr.-Ing. Dirk Bösche, Abdolhamid Farshadi, Dr.-Ing. Melanie Hoffmann,
Timo Jelden, Peer König, Marc René Lotz, Patrick Vieth, Fabian Benedikt Witt,
Fanke Zeng.



Das Team DC Systeme und Schaltgeräte erforscht ganzheitliche Ansätze und Methoden für die Gestaltung von DC-Systemen.

Gleichstromnetze (DC) gewinnen im Rahmen der Energiewende zunehmend an Bedeutung. Der Einsatz von Gleichstrom erhöht die Effizienz beim Anschluss von DC-Komponenten wie Photovoltaikanlagen, Batteriespeichersystemen und Computersystemen und bei der Übertragung von Energie über große Distanzen.

Die Verwendung von Gleichstrom bringt jedoch neue Herausforderungen an den

Netzschutz mit sich. Fehlerströme steigen durch die im Vergleich mit Wechselstromnetzen (AC) geringeren Induktivitätswerte schneller an. Außerdem verlöschen Gleichstromfehlerströme im Gegensatz zu Wechselstrom nicht von selbst, da sie keinen Nulldurchgang haben. Darüber hinaus werden die Umwandlungsprozesse in Gleichstromnetzen ausschließlich von Leistungselektronik auf der Basis von Halbleiterbauelementen gesteuert, die im

Allgemeinen eine geringere thermische Belastbarkeit aufweisen als die in Wechselstromsystemen typischerweise verwendeten Transformatoren.

Der Fehlerschutz und die fehlende Standardisierung bezüglich Schutz- und Netzplanung gehören zu den größten Herausforderungen, welche die breite Anwendung von DC- und hybriden AC/DC-Netzen behindern.

Hybridschaltgeräte

Hybridschaltgeräte, die mechanische Schaltgeräte mit Leistungshalbleitern kombinieren, bieten einen vielversprechenden Ansatz. Mechanische Schalter zeichnen sich durch geringe Durchlassverluste und galvanische Trennung aus, während Leistungshalbleiter schnelle und lichtbogenarme Schaltvorgänge ermöglichen.

Im untersuchten Konzept spielt der während des Ausschaltvorgangs entstehende Lichtbogen eine entscheidende Rolle. Insbesondere nach dem Erlöschen des Lichtbogens zeigt sich eine wesentliche Veränderung der Festigkeit der Schaltstrecke, die

stark von den Eigenschaften des abklingenden Lichtbogens abhängt.

Ein eigens entwickelter Versuchsaufbau, der den hybriden Ausschaltvorgang realitätsnah simuliert, ermöglichte eine systematische Untersuchung von Parametern wie dem Kontaktabstand und der Stromhöhe. Die Nachbildung der mechanischen Schaltstrecke ist in Abbildung 1 zu erkennen. Darüber hinaus wurden alternative Methoden entwickelt und getestet, um die Wiederverfestigung weiter zu untersuchen.

Der Versuchsaufbau findet unter anderem bei der Untersuchung verschiedener Gase auf die Verfestigungsgeschwindigkeit Anwendung. Der Aufbau wurde um ein Prüfgefäß (siehe Abbildung 2) erweitert, das Versuche unter variablem Druck von bis zu 11 bar ermöglicht. Elektrische und optische Messungen sowie Hochgeschwindigkeitskameraaufnahmen erlauben es, den Einfluss unterschiedlicher Prüfgase auf die Wiederverfestigung der Schaltstrecke zu analysieren. Die gewonnenen Erkenntnisse liefern wichtige Ansatzpunkte zur gezielten Optimierung von Schaltgeräten, nicht nur für den Low-Voltage-Direct-Current (LVDC)-Bereich, sondern auch für den High-Voltage-Alternating-Current (HVAC)-Bereich.

Ein weiteres Forschungsgebiet ist die Untersuchung alternativer Düsenmaterialien für Hochspannungs-AC-Schalter. Die durch den Lichtbogen verursachte thermische Belastung der Düsenwand im Inneren des Schalters führt zu einer Ausgasung von Material. Dieser erwünschte Effekt trägt zur Löschung des Lichtbogens bei. Die Verwendung von Material mit möglichst geringer Toxizität und klimaschädlichen Eigenschaften wird dabei angestrebt. Es wird untersucht, inwieweit alternative Materialien gegenüber dem bisher verwendeten Teflon ähnliche Eigenschaften in Bezug auf Langlebigkeit und Löschverhalten aufweisen.

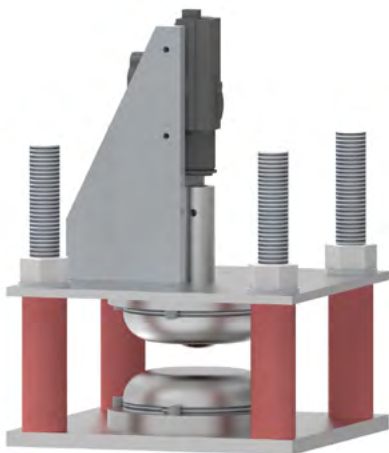


Abbildung 1: Nachbildung der mechanischen Schaltstrecke

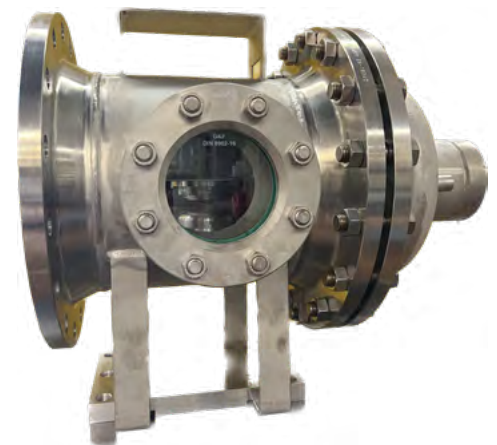


Abbildung 2: Prüfbehälter zur Untersuchung unter verschiedenen Umgebungsbedingungen

Das schalterlose Schutzprinzip

Eine interessante Alternative zum oben basierten schalterbasierten DC-Schutz stellt das „schalterlose Schutzprinzip“ dar. Diese in Abbildung 3 dargestellte Methodik zeichnet sich besonders durch hohe Geschwindigkeit und Robustheit aus. Moderne Leistungselektronik hat die intrinsische Fähigkeit, Ströme nach Fehlereintritt auf einen beliebigen Maximalwert zu begrenzen (z. B. Buck-Converter, Vollbrücken MMC, back-to-back VSC). Sollte der Fehler bestehen bleiben, muss der Fehler trotz Strombegrenzung erkannt und der Converter ausgeschaltet werden. Sobald Stromwerte erreicht wurden, welche das Öffnen von fehlernahen Trennschaltern erlauben, wird der Fehler durch diese galvanisch isoliert. Nach erfolgreicher Fehlerisolierung kann der gesunde Systemteil schnell wieder in Betrieb genommen werden.

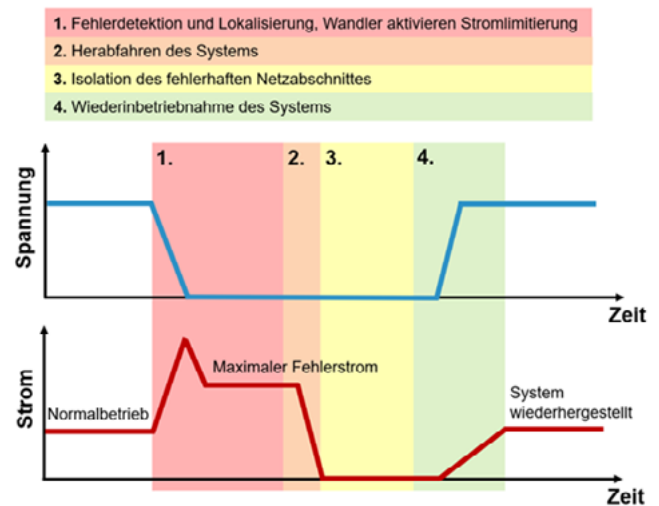


Abbildung 3: Das schalterlose Schutzprinzip im Fehlerfall

Entwicklung eines systematischen DC-Schutzdesignprozesses

Die Existenz zweier grundverschiedener Schutzstrategien (schalterbasiert und schalterlos) fordert mit Hinblick auf Standardisierung einen einheitlichen Planungsprozess für den DC-Schutz, welcher beide Verfahren kombiniert und berücksichtigt. An dieser Stelle wird auf die Arbeit von CENELEC (CLC/TS 50654-1) aufgebaut. Der entwickelte Designprozess ist entsprechend Abbildung 4 in drei Schritte unterteilt und basiert auf dem gezeigten V-Modell, das mit Hilfe des Systems Engineering entwickelt wurde.

Nach der Identifikation der Anforderungen an den Netzschutz werden auf Konzeptebene

ne Randbedingungen an den Leistungsfluss während und nach dem Fehlerklärungsprozess analysiert sowie das gewünschte Verhalten des Netzes nach CENELEC (CLC/TS 50654-1) definiert.

Auf Systemebene werden gewünschte Schutzaktions-Sequenzen an bestimmten Stellen des Netzes definiert, zunächst ohne die Realisierung durch Schutzorgane zu berücksichtigen. Fehlerlokalisierungsmechanismen werden so gewählt, dass diese gewünschten Schutzreaktionen im Betrieb realisiert werden können. Auch die zeitliche Abstimmung aller Schutzmaßnahmen wird berücksichtigt, um ein korrektes Zusammen-

enspiel zu gewährleisten. Auf Komponentenebene werden die Schutzgeräte im Netz platziert, um die auf Systemebene definierten Schutzaktions-Sequenzen zu realisieren. Schließlich werden die Schutzgeräte dimensioniert und die Auslöseschwellen so gewählt, dass die gewünschte Reaktion aller Komponenten ermöglicht wird. Im Anschluss an die Schutzsystemauslegung findet, wie in Abbildung 4 gezeigt, die Verifikation und Validierung anhand des rechten Teils des V-Modells statt.

Der entwickelte Planungsprozess findet unter anderem in EU-Projekten wie PROSECCO und Inter-oPEn Anwendung.

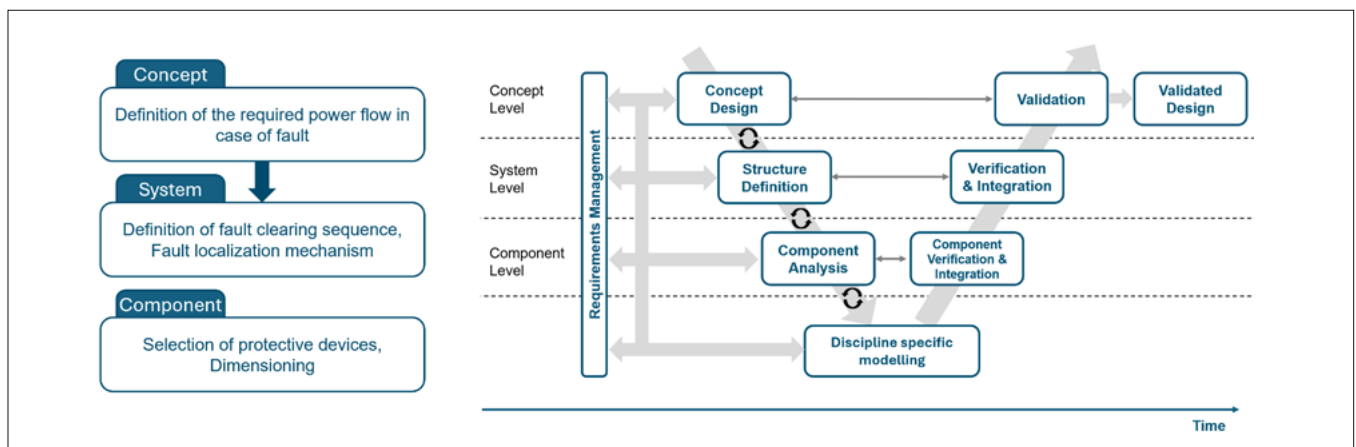


Abbildung 4: Planungsprozess für DC-Schutz basierend auf dem entwickelten V-Modell aus dem Systems Engineering

PHiL-Simulationen von HVDC-Systemen

Forschungsarbeiten für zukünftige High-Voltage-Direct-Current-Systeme (HVDC) im Bereich der Regelungs- und Schutztechnik sind auf einem Entwicklungsstand, bei dem Demonstrationen der entwickelten Komponenten und Systeme in laborskalierten Umgebungen essenziell sind, um den Technology Readiness Level (TRL) weiter zu erhöhen.

Aufgrund der steigenden Systemkomplexität, zum Beispiel mit geplanten Multi-Terminal-Netzen und DC Hubs, müssen auch die Interaktionen von AC/DC-Systemen und den Konvertern – hier Modular Multi-level Converter (MMC) – in der Laborumgebung genauer analysiert werden.

Mit Power-Hardware-in-the-Loop-Simulationen (PHiL) können diese komplexen Systemtopologien und Interaktionsstudien realisiert werden. In Abbildung 5 ist eine schematische Darstellung einer solchen Anwendung, wie sie am elenia aufgebaut wurde, dargestellt.

Ein skaliertes MMC wird AC-seitig über einen Netzsimulator und einen Transformator angeschlossen. DC-seitig wird über implementierte Kabelnachbildungen die

Verbindung mit einer PHiL-MMC-Simulation hergestellt. Die Laborkomponenten werden als Hardware of Interest (HOI) bezeichnet. Auf einem Echtzeitsimulator wird eine ähnliche Konverterstation simuliert, dessen Modell selbst entwickelt worden ist.

Das so entstehende Model of Interest (MOI) wird über ein PHiL-Interface-in-Software (PIS) so mit dem Leistungsverstärker (Linear Power Amplifier) verbunden, dass ein Leistungsaustausch zwischen HOI und MOI möglich ist und eine Rückkopplung zwischen den beiden Systemen besteht, so dass sie interagieren könnten, als wären sie elektrisch miteinander gekoppelt.

Mit diesem Aufbau konnten bereits Regelungs- und Schutzkonzepte erfolgreich demonstriert werden, zum Beispiel um die Konformität von Fault-Ride-Through-Konzepten zu den relevanten Grid Codes zu validieren. Ebenfalls wurden Interaktionen von MMCs während verschiedener Fehler analysiert, um die Notwendigkeit weiterer Regelungs- und Schutzalgorithmen daraus abzuleiten.

Insgesamt bietet der Demonstrator eine wesentliche Umgebung für die Erhöhung des TRL im Bereich von HVDC-Systemen. PHiL-Simulationen sind essenziell, um auch komplexe Topologien und Interaktionen analysieren zu können.

Die Konfiguration wird derzeit hardwareseitig durch einen zusätzlichen, ebenfalls skalierten MMC sowie einen weiteren Leistungsverstärker zu einer bipolaren Punkt-zu-Punkt-Verbindung erweitert, um reale Systeme noch besser abbilden zu können. Durch den Einsatz von PHiL können die Kabelnachbildungen auch simulativ dargestellt werden, wodurch das Verhalten noch näher an das einer realen Leitung mit großer Länge angenähert wird.

Darüber hinaus ist es dadurch möglich verschiedene Kurzschlusszenarien an beliebigen Stellen der Leitung abzubilden. Durch einen flexiblen Hardwareaufbau in Kombination mit Echtzeitsimulationen ist so auch die Darstellung von hybriden AC/DC-Netzen mit Multi-Terminal-Systemen möglich. Auch DC-Schalter können in den Aufbau integriert werden und somit die HOI weiter ergänzen.

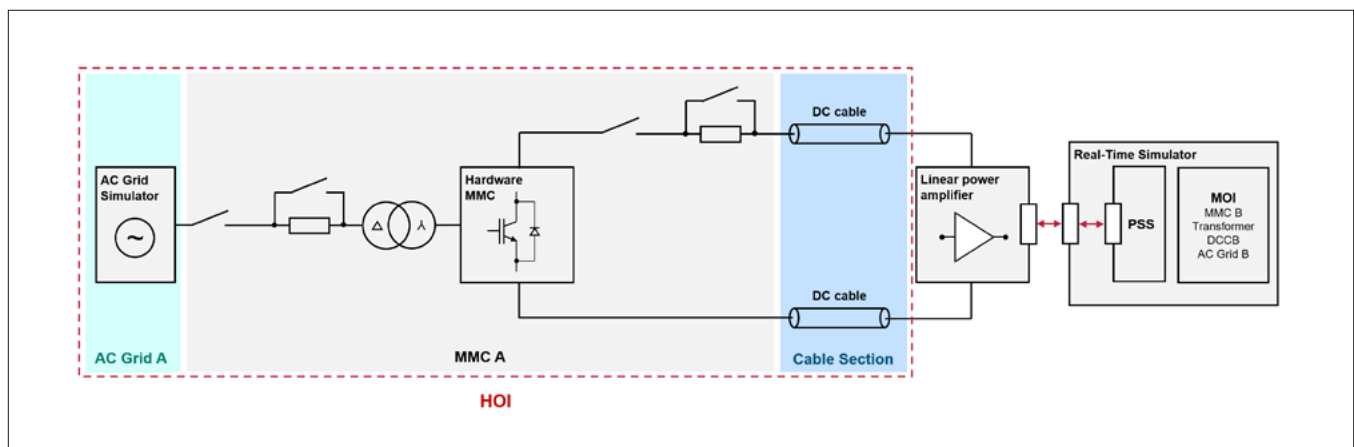


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Laborumgebung mit PHiL-Simulationen

Elektrisches Fliegen

Elektrisches Fliegen, bei dem die traditionellen hydraulischen und pneumatischen Systeme durch mehr elektrische Systeme ersetzt sind, ist ein vielversprechender Ansatz zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen. Eine solche Veränderung erfordert jedoch eine grundlegende Neugestaltung des Bordnetztopologiedesigns. Die zentrale Frage ist, wie ein solches System effektiv entworfen werden kann. Ein häufig verwendeter Ansatz ist das Systems Engineering, bei dem das V-Modell (Abbildung 4) den typischen Entwicklungsprozess darstellt.

In jeder Phase gibt es viele Aspekte zu berücksichtigen, wie z. B. die Anforderungsanalyse, das Definieren von Schnittstellen, das Treffen von Annahmen und die Dokumentation von Risiken.

Generell, aufgrund der Ungewissheit – wie z. B., dass die Standards und Spezifikationen, die oft als Rahmenwerk für die Forschung und Entwicklung dienen, noch

nicht vollständig ausgereift sind – müssen häufig Annahmen getroffen werden, was zusätzliche Risiken mit sich bringt. Ein bedeutendes Risiko entsteht beispielsweise, wenn das Design nicht den Standards oder Spezifikationen entspricht, die zu einem späteren Zeitpunkt veröffentlicht werden. Aus diesem Grund ist es entscheidend, dass alle Schritte im Entwicklungsprozess klar definiert und gut dokumentiert sind. Jede Annahme, getroffene Entscheidung und deren Begründung sollten nachvollziehbar sein, damit spätere Änderungen, wie z. B. Anpassungen von Anforderungen, Standards oder Spezifikationen, flexibel und effizient im Design umgesetzt werden können. Eine Erweiterung des Systems Engineering ist das Model-Based Systems Engineering, bei dem die Dokumentation in Form von Visualisierungsmodellen erstellt wird. Dies macht die Dokumentation nicht nur übersichtlicher, sondern auch leichter verständlich.



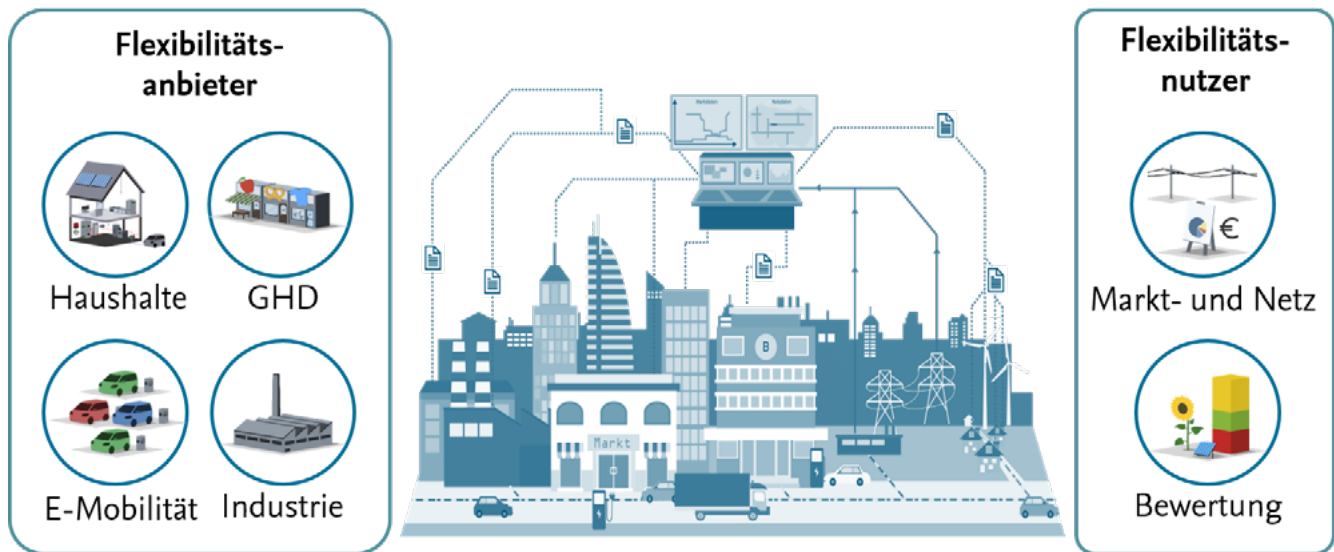
Abbildung 6: Das Konzept von Rolls-Royce für Vertical Aerospace; Quelle: Rolls-Royce



Team e³ – Energiemanage- ment, Energiesys- temmodellierung und Energiewirt- schaft

Tamara Beck, Julien Essers, Merle Ferk, Marcel Lüdecke, Michel Meinert, Eike Niehs, Kevin Preißner, Kai Schulze, Dr.-Ing. Frank Soyck, Ajay Kumar Thakur, Henrik Wagner, Carsten Wegkamp.





Die tiefgreifende Transformation des Energiesystems hin zu einer dekarbonisierten, dezentralen und digitalisierten Struktur stellt nicht nur technische, sondern auch gesellschaftliche und wirtschaftliche Systeme auf den Prüfstand.

Inmitten dieser Herausforderungen agiert das interdisziplinäre Team e³, das sich der Erforschung, Modellierung und praktischen Umsetzung von Lösungen für ein nachhaltiges Energiesystem widmet.

Unser Fokus liegt auf der ganzheitlichen Betrachtung dreier Kernbereiche: Energiemanagement, Energiesystemmodellierung und Energiewirtschaft. Ziel ist es, auf wissenschaftlicher Grundlage konkrete Impulse für die Gestaltung eines flexiblen, resilienten und nachhaltigen Energiesystems zu geben.

Das Zusammenspiel von Technologie, Markt und Nutzenden bildet dabei den methodischen Rahmen unserer Arbeit. Wir entwickeln innovative Ansätze, mit denen Energieflüsse intelligent gesteuert, Marktmechanismen effizient genutzt und digitale Infrastrukturen systematisch eingebunden werden können.

Die Forschung erfolgt in enger Verzahnung mit Laborversuchen, kooperativen Feldversuchen und simulationsgestützten Analysen – stets mit dem Anspruch, praxisrelevante und zukunftsfähige Lösungen bereitzustellen.

Energiemanagement – Steuerung im Spannungsfeld von Technik, Markt und Nutzenden

Die Steuerung von Energieflüssen in einem zunehmend volatilen und dezentralen Energiesystem erfordert neue Konzepte, die technische Machbarkeit, ökonomische Effizienz und Nutzendenakzeptanz vereinen. Im Bereich Energiemanagement erforscht das Team e³, wie Flexibilität – also die gezielte Verschiebung von Energieerzeugung, -verbrauch oder -speicherung – für verschiedene Anwendungszwecke (z. B. systemdienlich oder netzorientiert) aktiviert werden kann.

Im Zentrum steht dabei die Entwicklung intelligenter Energiemanagementsysteme (EMS), die durch Prognosen, Preissignale und Netzzustandsinformationen in der Lage sind, eine optimale Betriebsweise für Prosumer-Haushalte, Gewerbeeinheiten, industrielle Anlagen oder moderne Zusammenschlüsse wie Energiegemeinschaften oder Quartiere zu ermitteln. Diese Systeme berücksichtigen technische Restriktionen ebenso wie individuelle Komfortgrenzen und betriebswirtschaftliche Zielsetzungen.

Ein wesentlicher Baustein für die Umsetzung von intelligenten Steuerungsansätzen

ist der flächendeckende Einsatz von intelligenten Messsystemen mit Smart Meter Gateways. Diese eröffnen neue Möglichkeiten für intelligentes Energiemanagement. Das Team e³ untersucht, wie über die verschiedenen Schnittstellen des Smart Meter Gateways relevante Mess- und Steuerungsdaten in das Energiemanagement integriert werden können. Im Energiemanagement-Labor des elenia werden die daraus entstehenden Ansätze und die verschiedenen Akteure realitätsnah erprobt.

Die Forschung des Teams umfasst sowohl zentrale als auch dezentrale Steuerungskonzepte und Optimierungsalgorithmen. Ein besonderer Fokus liegt auf der Frage, wie sich diese Systeme in bestehende Infrastrukturen integrieren lassen und wie Schnittstellen zu Netzbetreibern, Aggregatoren und Marktakteuren gestaltet sein müssen, um einen wirtschaftlichen und sicheren Betrieb zu gewährleisten.

Zudem untersucht das Team die Mehrfachnutzung von häuslichen Batteriespeichersystemen im Sinne von Revenue- bzw. Value-Stacking, mit dem Ziel, das techno-ökonomische Potential vollständig auszuschöpfen.

Hierbei werden anwendungs- und nutzerorientierte Ansätze verfolgt.

Das Team untersucht darüber hinaus auch, wie verschiedene Akteursgruppen – insbesondere Endverbraucher – in Steuerungsentscheidungen einbezogen werden können. Die Gestaltung von Anreizmechanismen ist dabei ebenso Teil der Forschung wie die Betrachtung sozio-technischer Aspekte, z. B. im Umgang mit Komforteinschränkungen oder Datenschutzbedenken.

Ziel ist es, Energiemanagement als zentrale Schaltstelle zwischen Netz, Markt und Nutzenden zu etablieren – nicht nur in Einzelhaushalten, sondern auch in Mehrfamilienhäusern und auf Quartiers-Ebene, wo gemeinschaftliche Nutzungskonzepte, kollektive mehrfachgenutzte Speicherlösungen und sektorübergreifende Optimierungen neue Potenziale eröffnen.

Energiesystemmodellierung – Digitale Werkzeuge für die Energiewende

Die zunehmende Komplexität des Energiesystems erfordert detaillierte, multidimensionale Modellierungs- und Simulationsansätze. Im Bereich Energiesystemmodellierung entwickelt das Team e³ Werkzeuge, mit denen sich technische, wirtschaftliche und regulatorische Aspekte von Energiesystemen integriert untersuchen lassen. Das Team orientiert sich hierbei an den Standards des *Open Science* und legt

großen Wert auf Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Forschungsergebnisse. Zudem setzt sich das Team mit aktuellen Fragestellungen des Forschungsdatenmanagements auseinander und berücksichtigt möglichst die FAIR-Kriterien in ihrer Arbeit.

Ein zentrales Werkzeug ist die eELib – elenia Energy Library. Diese offene Modellbibliothek wurde speziell für Fragestellungen im Kontext von Prosumer-Systemen konzipiert. Sie ermöglicht die Abbildung von Energiesystemszuständen auf Gebäude-, Quartiers- und Netzebene, unterstützt die Entwicklung von Betriebsstrategien für Energiemanagementsysteme und erlaubt die detaillierte Analyse von Wechselwirkungen zwischen Verbrauchern, Erzeugern, Speichern und dem Stromnetz.

Mit der eELib lassen sich nicht nur physikalisch-technische Prozesse simulieren, sondern auch wirtschaftliche Fragestellungen und Marktreaktionen abbilden. Die Bibliothek bietet Module zur Bewertung von Tarifmodellen, zur Analyse netzdienlicher Betriebskonzepte sowie zur Identifikation möglicher Netzengpässe infolge von Sektorkopplung und Elektrifizierung.

Durch die modulare Architektur und offene Dokumentation lässt sich die eELib flexibel erweitern und mit bestehenden Softwareumgebungen verknüpfen. Sie dient als Fundament für Co-Simulationen, Optimie-

rungsstudien und Reallaborbegleitungen – sowohl für akademische Forschung als auch für Industriekooperationen und politische Beratung.

Ergänzend zur eELib werden im Team auch methodische Frameworks zur Szenarienanalyse, Sensitivitätsuntersuchung und Unsicherheitsbewertung entwickelt. Diese ermöglichen es, zukünftige Entwicklungen systematisch zu untersuchen und robuste Strategien zu entwickeln – etwa im Umgang mit Technologieunsicherheiten oder regulatorischen Änderungen.

Energiewirtschaft – Rahmenbedingungen für ein nachhaltiges Energiesystem

Der Umbau des Energiesystems kann nur gelingen, wenn technische Innovationen mit passenden wirtschaftlichen Rahmenbedingungen einhergehen. Im Bereich Energiewirtschaft analysiert das Team e³, wie Marktmechanismen, Regulierung und Geschäftsmodelle ausgestaltet sein müssen, um eine effiziente, faire und resiliente Energieversorgung sicherzustellen.

Ein zentrales Thema ist die Frage, wie neue Technologien und Akteursrollen in bestehende Marktstrukturen eingebunden werden können. Das Team untersucht, wie variable Tarife, netzorientierte Anreizsysteme oder marktbasierende Flexibilitätserzeugnisse gestaltet sein müssen, um prosumergerechtes Verhalten zu fördern und gleichzeitig Versorgungssicherheit sowie Netzstabilität zu gewährleisten.

Darüber hinaus stehen Fragen der Kostenallokation, der Integration dezentraler Akteure in Systemdienstleistungen sowie der Ausgestaltung innovativer Mechanismen und Konzepte im Fokus. Die Auswirkungen der aktuellen und zukünftigen Regulierung auf Prosumer, Aggregatoren oder Netzbetreiber werden ebenso analysiert wie die Potenziale neuer Geschäftsmodelle in Mehrparteienkontexten oder gemeinschaftlichen Energieanlagen.



Abbildung 1



Abbildung 2: Intelligentes Messsystem mit Prototypen-EMS im Labor.

Ein besonderer Forschungsbereich widmet sich der Wechselwirkung zwischen Markt und Technik: Wie verändern wirtschaftliche Rahmenbedingungen das Betriebsverhalten von Anlagen? Welche Rückwirkungen ergeben sich auf Netzausbau, Investitionsentscheidungen und Systemkosten?

Hierbei kommen ökonometrische Modelle, simulationsgestützte Analysen und Tools zum Einsatz.

Auch internationale Entwicklungen – etwa zur marktgestützten Beschaffung von Momentanreserve oder zur Gestaltung lokaler Energiemärkte – fließen in die Forschung ein. Ziel ist es, praxisnahe Empfehlungen für Politik, Energieversorger und Technologieanbieter zu erarbeiten, die einen stabilen

und zukunftsorientierten Ordnungsrahmen für die Energiewende ermöglichen.

Ganzheitlich, praxisnah, offen – Forschung mit Systemverantwortung

Das Team e³ versteht sich als Impulsgeber für eine systemische und zukunftsgerichtete Energieforschung. Unsere Stärke liegt in der Verbindung von ingenieurwissenschaftlicher Exzellenz, wirtschaftlichem Systemverständnis und gesellschaftlicher Perspektive. Wir arbeiten an Lösungen, die technologisch fundiert, wirtschaftlich tragfähig und sozial verträglich sind.

Unsere Forschungsansätze werden kontinuierlich in Laborumgebungen, Simulationen und realen Feldprojekten validiert und verbessert. Die enge Zusammenar-

beit mit Industriepartnern, Stadtwerken, Netzbetreibern und politischen Institutionen gewährleistet Praxisnähe und Relevanz. Gleichzeitig fördern wir durch die Bereitstellung offener Plattformen wie der eELib und durch transparente Ergebnisveröffentlichung eine offene, nachvollziehbare und kollaborative Energieforschung.

Ziel unserer Arbeit ist es, die vielfältigen Herausforderungen der Energiewende in konkrete Lösungsansätze zu übersetzen – von der technischen Systemintegration über Marktgestaltung bis zur Nutzerinteraktion. Damit leisten wir einen aktiven Beitrag zur Transformation unseres Energiesystems und tragen zur Erreichung von nachhaltigen Klimazielen, Versorgungssicherheit und sozialer Teilhabe bei.

Team Hochspannung, Vakuum- und Plasmatechnik

David Cziumplik, Karen Flügel, Mats Göhrmann, Marius Hinz,
Maik Kahn, Timo Meyer, Nils Wilm Rosebrock, Laura Tiedemann.



Das elenia Institut für Hochspannungstechnik und Energiesysteme arbeitet seit Jahren intensiv an der Weiterentwicklung von Vakuum-schaltern, um diese auch in der Hochspannungsebene einzusetzen.

Als einer der führenden Standorte für Vakuumschalterforschung in Deutschland widmen wir uns mit unseren intensiven Forschungsaktivitäten der fundamentalen Grundlagenforschung. Ob im Schaltvorgang, geöffneten oder im geschlossenen Zustand. Die Forschungsaktivitäten sind zudem durch ein signifikantes Teamwachstum belegt: Das Team für Hochspannungs-, Vakuum- und Plasmatechnik ist von vier auf acht Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler angewachsen und treibt die Forschung auf internationalem Niveau voran.

Insgesamt zeigt sich, dass die Vision der Vakuumschalter der richtige Weg ist. Die Optimierung des Vakuumschaltprinzips und die intensive Untersuchung des Plasmaverhaltens leisten einen wesentlichen Beitrag zur nachhaltigen Transformation der Energietechnik. Diese strategische Ausrichtung ermöglicht es, den Herausforderungen der Energiewende gerecht zu werden und die Umweltbelastung nachhaltig zu reduzieren.

Alternative Isoliergase für Hochspannungsanlagen

Schwefelhexafluorid (SF_6) bietet in der Energietechnik hervorragende elektrische Ei-

genschaften, ist jedoch extrem klimaschädlich mit einem Kohlenstoffdioxid-Äquivalent (GWP) von 25.184. Angesichts steigender Nachfrage, insbesondere durch den Netzausbau für erneuerbare Energien, forschen wir an alternativen Gasen, die SF_6 ersetzen und eine umweltfreundlichere Lösung bieten können, um die negativen Klimaauswirkungen zu minimieren. Damit wird ein wichtiger Beitrag zur Nachhaltigkeit in der Energietechnik geleistet. Experimentelle Untersuchungen mit alternativem Isoliergas für Hochspannungsanlagen zielen darauf ab, Lösungen aus Mischungen atmosphärischer Gase wie Stickstoff, Kohlenstoffdioxid, Sauerstoff und Argon oder Beimischung eines fluorierten Gases zu finden. Die Forschung am elenia fokussiert sich dabei auf die fluorgasfreien Alternativen mit einem $\text{GWP} \leq 1$.

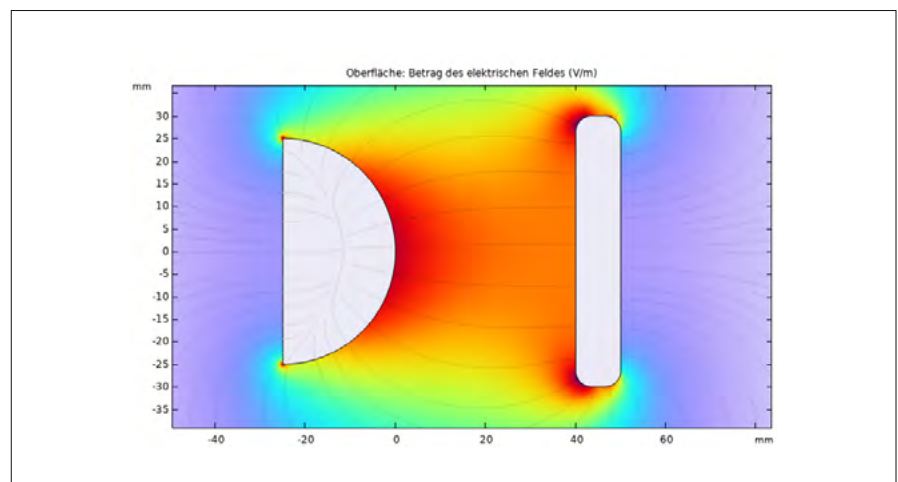
Zur Überprüfung der Eignung eines Gases als alternatives Isoliergas werden unter anderem die dielektrischen Eigenschaften des Prüfgases untersucht. Dabei wird vor allem die Durchschlagsfestigkeit der unterschiedlichen Gase unter der Variation verschiedener Parameter wie zum Beispiel verschiedenen Drücken, Elektrodenabständen und Elektrodenoberflächen bestimmt. So kann festgestellt werden, welches der untersuch-

ten Prüfgase die beste Alternative für einen fluorgasfreien Leistungsschalter darstellt. In weiterführenden Untersuchungen soll außerdem der effektive Ionisationskoeffizient und daraus das Streamer-Kriterium bestimmt werden. In Kombination mit Feldberechnungen und weiteren Untersuchungen soll so ein Modell entwickelt werden, um die elektrische Festigkeit einer beliebigen Anordnung bestimmen zu können.

Klimafreundlich Schalten mit Vakuum-Leistungsschaltern

Neben alternativen Gasen und technischer Luft kommt als Ersatz auch Vakuum als Isolier- und Schaltmedium in Frage. Vakuum besticht vor allem durch die Klimaneutralität und Wartungsfreiheit von Vakuumschaltgeräten. Aufgrund dieser Vorteile werden in der Mittelspannung bereits überwiegend Vakuumschaltanlagen eingesetzt und für die Hochspannung kommen Vakuum-Leistungsschalter schrittweise auf den Markt. Unsere Forschung trägt durch das bessere Verständnis einzelner Aspekte zur Entwicklung von Vakuum-Leistungsschaltern bei.

Abbildung 1:
Feldsimulation einer
Kugel-Platte-
Anordnung



Dielektrik

Die degressive Charakteristik der elektrischen Festigkeit des Vakuums über den Abstand macht es schwierig, die Vorteile der Vakuumschalttechnik auch im Hochspannungsbereich zu nutzen. Daher ist die elektrische Festigkeit von Vakuum-Leistungsschaltern ein wichtiges Forschungsgebiet. Neben der übermäßigen Vergrößerung des Abstandes wird die Reihenschaltung mehrerer Vakuumschalter als Möglichkeit für hohe Spannungen genutzt. Dabei ist der Spannungsverteilung besondere Aufmerksamkeit zu widmen, da sich die Spannungsverteilung über der Reihenschaltung aufgrund von parasitären Kapazitäten verschiebt. Dies hat zur Folge, dass die Spannung über dem obersten Vakuumschalter höher ist als die über den anderen. Um die Spannungsverteilung trotz der parasitären Kapazitäten im Gleichgewicht zu halten, werden Steuerkondensatoren eingesetzt. Am elenia wird die Verwendung von Feldsteuerungen aus Metallschirmen untersucht, die das elektrische Feld kapazitiv steuern.

Plasmaparameter

Neben den dielektrischen Beanspruchungen im offenen Zustand des Vakuumschalters ist auch die Beherrschung von höher werdenden Kurzschlussströmen und transienten Spannungen während der Ausschaltung zu gewährleisten. Das Ausschalten einer Schaltstrecke wird durch einen feststehenden und einen beweglichen Kontakt realisiert. Während das Auftreten eines Fehlers wird der bewegliche Kontakt vom feststehenden entfernt. Bei dieser Ausschaltung kommt es aufgrund der hohen thermischen Beanspruchungen durch den Kurzschlussstrom zum Aufschmelzen der Kontaktoberflächen und Metaldampf verteilt sich im Inneren des Vakuumschalters. Durch die leitfähigen metallischen Partikel kommt es zur Entstehung einer Plasmasäule, dem sogenannten Vakuumbogen. Durch das geometrische Kontaktdesign der Schaltkontaktstücke wird dieser Bogen aufgrund von magnetischen Kräften in eine Rotationsbewegung geführt oder auf die komplette Kontaktoberfläche ausgedehnt, sodass die Kontaktstücke gleichmäßig abgenutzt werden.

Bogenanalyse

TMF-Kontakte (Transversal Magnet Feld) sind im Mittelspannungsbereich stark verbreitet. Um diese auch für höhere Spannungsbereiche einsatzfähig zu machen, gibt es unterschiedlichen Forschungs- und Entwicklungsansätze. Wir untersuchen hohe Kontakthübe bis 45 mm und die Ausschaltung von zwei Vakuumschaltern in Reihe. Dabei wird das Bogenverhalten während der ganzen Ausschaltung mit einer High-Speed-Kamera beobachtet und mit gemessenen elektrischen Parametern verglichen, um eine möglichst detaillierte Aussage über das Plasmaverhalten zu erhalten.

Dabei werden bspw. Parameter wie Bogeneschwindigkeit und Anzahl von Bogenrotationen untersucht. Zu sehen ist die Bewegung des Bogens beim Auseinanderziehen der Kontaktstücke. Die Entstehung und anschließende Löschung des Plasmas wird erforscht, um eine gute Schalterperformance auch für höhere Spannungsebenen zu ermöglichen.

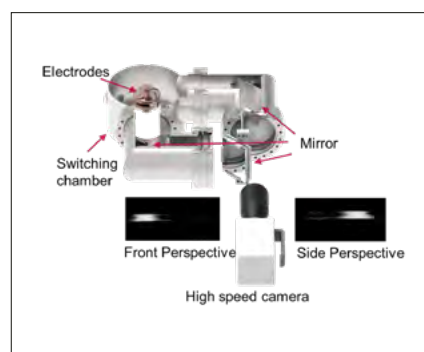


Abbildung 2: Schematischer Aufbau der optischen Vakuumbogenbeobachtung mit der High Speed Kamera

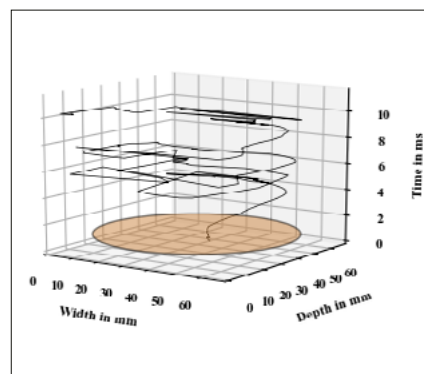


Abbildung 3: Bewegung des Vakuumbogens beim Öffnen der TMF-Kontaktstücke unter Hochstrombelastung

Magnetfeldanalyse

AMF-Kontakte (Axial Magnet Feld) spielen aufgrund ihrer im Vergleich zu TMF-Kontakten geringeren Erosion eine zentrale Rolle. Um die Übertragung hoher Leistungen – und damit verbundene starke Belastungen für Schaltkontakte – mit einer möglichst langen Lebensdauer zu ermöglichen, muss das Magnetfeld, und damit auch der entstehende Metaldampf, gleichmäßig über die Kontaktoberfläche verteilt sein.

Von entscheidender Bedeutung ist hierbei das axial ausgerichtete Magnetfeld, das den Metaldampfbogen auseinanderzieht und in einen diffusen Nebel überführt. Diese gleichmäßige Verteilung reduziert die lokale thermische Belastung und damit die Abnutzung der Kontaktflächen.

Die Abbildung 4 zeigt das durch den Strom erzeugte Magnetfeld. Mit zunehmendem Abstand der Kontakte kontrahiert der Metaldampfbogen – in der Darstellung erkennbar an der Abschwächung des Feldes im Zentrum des Kontaktspalts. Die eingezeichneten Pfeile verdeutlichen zusätzlich die Richtung der Magnetfeldlinien.

Aussagen über die Feldstärke lassen sich sowohl mithilfe von Simulationen als auch durch experimentelle Messungen gewinnen. Darüber hinaus kann die Bewegung des Metaldampfbogens selbst Hinweise auf die Feldverteilung liefern.

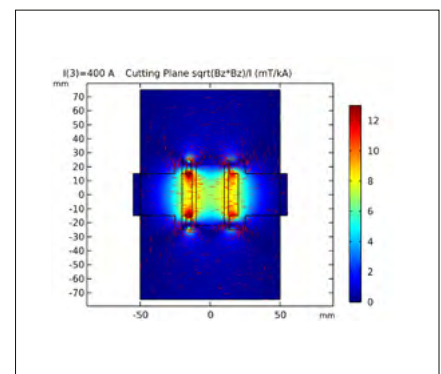


Abbildung 4: Magnetfeld zwischen AMF-Kontakten

Übergangswiderstand der Kontakte

Die Optimierung der Effizienz und Zuverlässigkeit elektrischer Übertragungswege, insbesondere durch die umfassende Bewertung der Verlustleistung von Schaltkontakten unter verschiedenen Bedingungen rundet unsere Forschung zu Vakuumschaltern ab. Es wurde ein spezieller Versuchsaufbau entwickelt, um den Kontaktwiderstand und die damit verbundenen Oberflächeneffekte für eine Reihe von Materialien systematisch zu analysieren. Zu den untersuchten Kontaktmaterialien gehören Legierungen von Kupfer, Chrom, Wolfram, Molybdän sowie Referenzmaterialien wie Aluminium und Messing. Dieser Aufbau simuliert realistische mechanische und elektrische Bedingungen, wie sie in Mittelspannungs-Schaltanlagen anzutreffen sind.

Isolationssysteme für die Hochfrequenz-Leistungselektronik der Zukunft

Die neue Halbleitergeneration mit Siliziumkarbid (SiC) und Galliumnitrid (GaN) gewinnt zunehmend an Bedeutung in der Leistungselektronik und drängt verstärkt auf den Markt. Insbesondere im Bereich der Hochvoltbordnetze und der Elektromobilität steigt der Bedarf an effizienten Halbleitern. Ein wesentlicher Vorteil dieser Technologien liegt darin, höhere Frequenzen und Spannungen zu schalten, was in einer hochfrequenten Hochspannung (HFHV) resultiert. Allerdings bringen die schnellen Schaltvorgänge neue Herausforderungen mit sich, sie erhöhen die Belastung der Isolationssysteme und führen vermehrt zu Ausfällen. Daher steigen die Anforderungen an die verwendeten Isolierstoffe. Um die dielektrischen Eigenschaften fester Isolierstoffe unter hochfrequenter Hochspannung zu untersuchen, ist eine große Bandbreite an Signalformen, Frequenzen und Spannungen erforderlich. Die Erzeugung von HFHV ist technisch herausfordernd, weil sie zwei Extreme gleichzeitig vereint: hohe elektrische Spannung und hohe Frequenz. Diese Kombination stellt besondere Anforderungen an die Bauteile, Materialien und das Design des Systems. Dies macht

die Entwicklung eines neuen Generators notwendig. Zudem sind Prüfkörper unerlässlich, um die Auswirkungen dieser Belastungen zuverlässig zu analysieren. Mittels additiver Fertigung können kostengünstig, schnell und einfach sowohl einfache als auch komplexe Prüfkörper gefertigt werden.

Um den 3D-Druck für den Prüfkörperbau zu verwenden, muss zunächst das Material charakterisiert und untersucht werden. Die Untersuchungen zeigen, dass die Druckparameter einen erheblichen Einfluss auf die dielektrischen Eigenschaften additiv gefertigter Materialien haben. Ein Forschungsfokus lag auf der Verwendung von 3D-gedruckten Elektroden aus ESD-PLA zur Beeinflussung der dielektrischen Durchschlagsspannung von Luft. Dabei wurde festgestellt, dass diese Elektroden zwar eine geringere Leitfähigkeit als herkömmliche Metallelektroden aufweisen, aber dennoch für bestimmte Anwendungen vielversprechend sein können. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass durch weitere Optimierungen der Druckparameter und Materialeigenschaften die additive Fertigung eine kostengünstige Alternative für spezifische elektrische Anwendungen werden könnte.

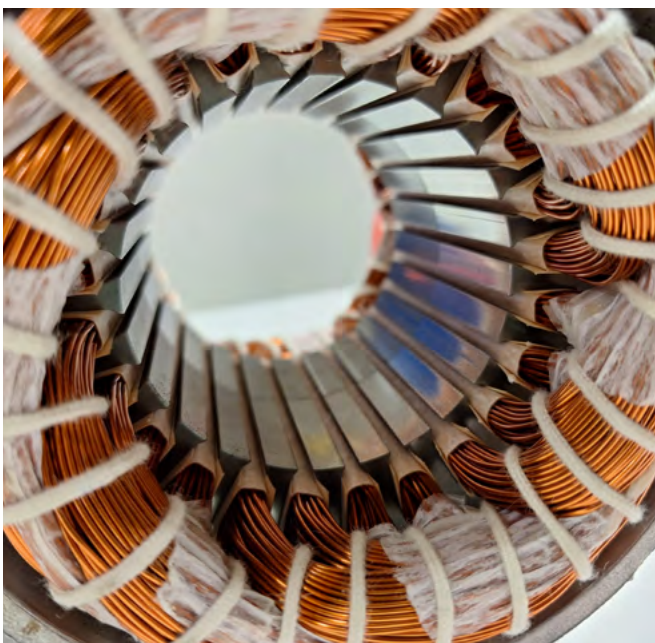


Abbildung 5: Isolationssystem in der Elektromobilität

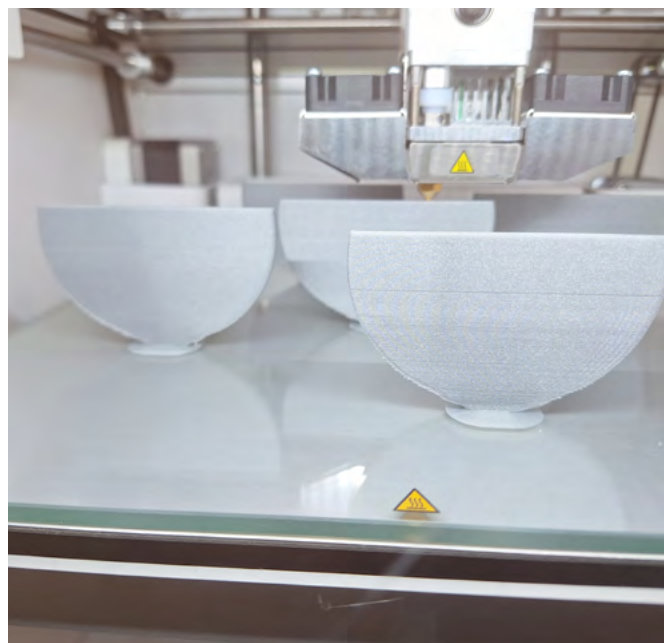


Abbildung 6: Prüfkörperfertigung mit 3D-Druck

Team Netzdynamik und Systemstabilität

Sofie Brammer, Max Gand, Till Garn, Johanna Grobler, Nelly Gorkow,
Stefan Klöpping, Timo Sauer, Frederik Tiedt, Stefanie Walujski,
Björn Oliver Winter.





Wie erreichen wir eine zukünftig stabile Stromversorgung? Wir entwickeln Lösungen für die Netzstabilität von morgen.

Die Energiewende und die Klimakrise erfordern einen tiefgreifenden Umbau unserer Stromnetze. Der in Deutschland beschlossene Ausstieg aus Kern- und Kohlekraft führt dazu, dass in Zukunft weniger durch Synchrongeneratoren gekoppelte Kraftwerke am Netz sind und mit Windkraftanlagen, Photovoltaik und Batteriespeichern stattdessen mehr leistungselektronisch angeschlossene Anlagen. Bisher wurden Systemdienstleistungen wie z. B. Momentanreserve oder Spannungshaltung, die für einen stabilen Betrieb des Netzes notwendig sind, von Synchrongeneratoren durch ihre netzbildenden Eigenschaften bereitgestellt. Künftig sollen Erzeugungsanlagen erneuerbarer Energien diese Aufgaben, idealerweise vollständig, übernehmen. Diese Erzeugungsanlagen liefern eine Gleichspannung, die über einen Wechselrichter in die im Netz benötigte sinusförmige Wechselspannung umgewandelt werden muss. Heutige Anlagen sind fast ausschließlich über netzfolgende Wechselrichter angeschlossen, die die Frequenz an ihrem Netzanschlusspunkt als Referenz nehmen

und nachahmen. Damit Anlagen, die über Wechselrichter angeschlossen sind, die Systemdienstleistungen erbringen können, die bisher von Synchrongeneratoren übernommen werden, muss ihre Regelung angepasst werden, zu einer netzbildenden Regelung die nicht auf das Nachahmen einer äußeren Spannung angewiesen ist. Nur so können die Anlagen instantan auf Störungen reagieren und künftig stabilisieren

de Funktionen im Energiesystem auch in relevanten transienten Kurzzeitbereichen übernehmen. Das Team Netzdynamik und Systemstabilität forscht an solchen netzbildenden Regelungen und deren Integration in unterschiedlichen Spannungsebenen im elektrischen Versorgungsnetz. Ziel ist es, einen sicheren und resilienten Netzbetrieb in einer zukünftigen, klimaneutralen Energieversorgung zu gewährleisten.

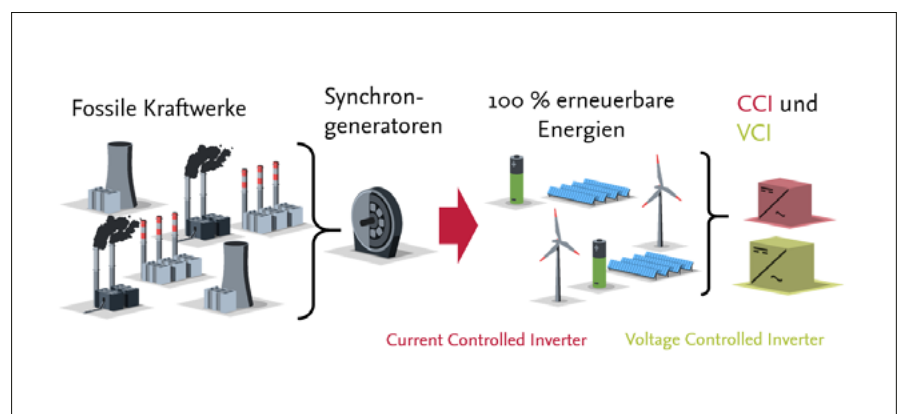


Abbildung 1: Wandel der Erzeugungsstruktur im Energienetz von Großanlagen mit Synchrongeneratoren hin zu leistungselektronisch gekoppelten Anlagen

Die methodischen Ansätze im Team reichen von der vollumfänglichen Netzintegration neuer Komponenten, der Entwicklung von Regelungsmodellen netzbildender Stromrichter, sowie Inselnetzerkennungsverfahren bis hin zu detailreichen Simulationen und Labortests. Dabei kommen Prototypen-Wechselrichter und Power-Hardware-in-the-Loop-Systeme zum Einsatz. Zentrale Tools, die innerhalb des Teams genutzt werden, sind MATLAB Simulink und Python. Die Umsetzung der praktischen Teile der Projekte im Team erfolgt im Netzdynamiklabor am elenia Institut. Dort werden beispielsweise Demonstratoren und Prototypen aufgebaut und Versuche mit netzbildenden Regelungen durchgeführt. In Zukunft wird durch den Bau eines neuen Netzdynamiklabors die Grundlage für weiterführende Forschung geschaffen und mit einer hochdynamischen Laborspannungsquelle von Spitzenberger & Spies ergänzt.

Quantifizierbares Regelungsverhalten von Stromrichtern in Hinblick auf transiente Stabilität sowie Netzfehlerverhalten

Im Projekt *MetroSDL* werden messtechnische Grundlagen erarbeitet, um für die marktbasierende Beschaffung von Momentanreserve entscheidende Größen wie die Anlaufzeitkonstante und dynamische Frequenzänderungen aus Strom- und Spannungsmessungen zu bestimmen. Außerdem werden bestehende netzfolgende Stromregelkonzepte weiterentwickelt und durch hochdynamische Mess- und Regelverfahren ergänzt, um eine potenzielle Bereitstellung schnellerer Primärregelungsprodukte als Ergänzung zur Momentanreserve in Regelkreisen zu untersuchen. Das Team arbeitet an Verfahren, die Netzparameter wie Frequenz, Phasenwinkel und Frequenzgradient (RoCoF) effektiv erfassen und in die Regelung einfließen lassen. Ferner liegt ein Schwerpunkt auf der Bestimmung der Anlaufzeitkonstanten und der verfügbaren Momentanreserve netzbildender Wechselrichter. Die entwickelten Konzepte und Verfahren werden im Labor umfangreich validiert und bilden die

Grundlage für Nachweis-, Präqualifikations- und Zertifizierungsverfahren.

Ob ein stabiler Netzbetrieb in einem dezentral gesteuerten Mittelspannungsnetz, das ausschließlich von Stromrichtern gespeist wird, ohne übergeordnete Kommunikation realisierbar ist, wird im *Reallabor Fuchstal leuchtet* untersucht. Dabei liegt der Fokus auf der Entwicklung von Regelungsstrategien für netzbildende Stromrichter, die mit integrierten Großbatteriespeichern betrieben werden und so eine potenziell autarke Netzfürung ermöglichen. Das besondere hierbei ist die tatsächliche Validierung entwickelter Maßnahmen in einem realen Mittelspannungs-Netzabschnitt im Süden Deutschlands. Hierfür werden zunächst in Simulationen unerwünschte Wechselwirkungen und das Zusammenspiel der unterschiedlichen Regelungen analysiert, um mögliche störende Wechselwirkungen zu minimieren.

Weiterhin untersucht das Projekt *Fuchstal leuchtet* die Systemstabilität in Reaktion auf Laständerungen und leitet daraus stabilitätsfördernde Maßnahmen ab. Schutztechniken sowie selektive Abschaltmechanismen, insbesondere für den sicheren Inselnetzbetrieb des Realnetzabschnittes, werden ebenso bewertet wie die bestehenden Netzparallelbetriebsparameter im Hinblick auf zukünftige Anforderungen. Ziel des Teams im Projekt ist es, ein umfassendes Regelungskonzept für stromrichterbasierte Verbundnetze zu entwickeln und zu evaluieren, ob ein sicherer und stabiler Betrieb des Mittelspannungsnetzes gewährleistet wird.

Bedarfsermittlung und Bereitstellung von Momentanreserve und die Umsetzung stabiler Frequenzhaltung

Um auch künftig die vollumfängliche Systemstabilität zu gewährleisten, müssen auch gegebenenfalls weitere hinzukommende Erzeugungsanlagen in den unteren Spannungsebenen wie der Niederspannung einen Beitrag hierzu leisten. Durch netzbildende Wechselrichter könnten auch diese zur Frequenzhaltung beitragen. Das Gesamtziel des Projekts *NetFlexum* ist es

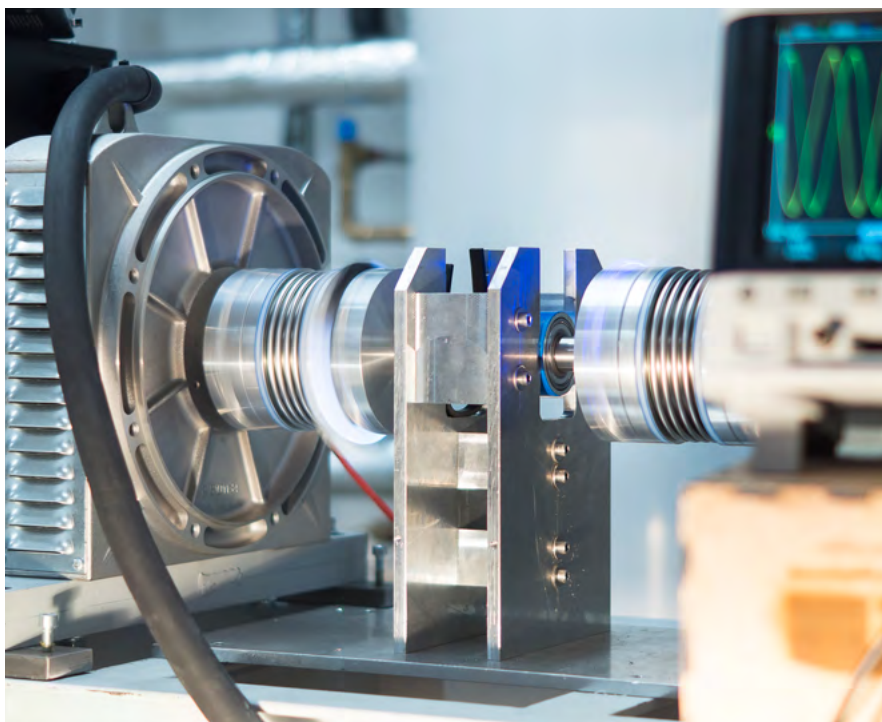


Abbildung 2: Gekoppelter Maschinensatz, bestehend aus Asynchron- und Synchronmaschine mit frei parametrierbarem Umrichter



Abbildung 3: Vollprogrammierbarer dreiphasiger Prototypenstromrichter

deshalb, zur sicheren und erfolgreichen Einführung von netzbildenden Wechselrichtern in Prosumer-Haushalten beizutragen und somit an Lösungen für mehr Netzdienlichkeit, Flexibilität und Wirtschaftlichkeit von Prosumer-Haushalten zu arbeiten. Im Team werden in diesem Projekt insbesondere Lastkollektive mit Hilfe einer netzbildenden Regelung erstellt, um die Belastungen sowohl für den Wechselrichter als auch für den Batteriespeicher zu identifizieren. Diese werden anhand eines Demonstrators im Netzdynamiklabor validiert. Abschließend findet eine ökonomische Auswertung des Prosumer-Haushaltes statt, um zu identifizieren, welche Optionen und Einschränkungen sich durch eine zusätzliche Momentanreservebereitstellung ergeben.

Wie ein zukünftiger stabiler Betrieb des europäischen Verbundsystems mit bis zu 100% erneuerbaren Energien aussehen kann, wird in dem Projekt *SysStab2030* untersucht. Mit diesem Projekt wird die 2023 von der Bundesregierung beschlossene Roadmap Systemstabilität begleitet.

Konkret sollen in *SysStab2030* Systembedarfe ermittelt werden, die aufgrund des beschriebenen Wandels entstehen. Außerdem sollen die Potentiale verschiedener Anlagen erforscht werden, um diese Bedarfe zu decken. Das Team Netzdynamik und Systemstabilität konzentriert sich dabei schwerpunktmäßig auf die Momentanreserve. Das Projektkonsortium besteht dabei aus mehreren Universitäten aber auch den vier Übertragungsnetzbetreibern, was einen unmittelbaren und direkten Austausch aller hochrelevanten Interessengruppen auf höchster Ebene ermöglicht.

Interoperabilität beim Einsatz von netzbildenden Wechselrichtern und Ausgestaltung eines zukünftigen Netzes

Um bei zukünftig hoher Umrichterdurchdringung im Nieder- und Mittelspan-

nungsnetz einen sicheren und effizienten Betrieb zu garantieren, werden im Projekt *Verteilnetz2030+* innovative Lösungen erarbeitet. Das Team konzentriert sich dabei auf drei Kernbereiche: Es wird der Netzschutz an veränderte Netzcharakteristiken angepasst, um die Systemstabilität sicherzustellen und ungewollte Teilnetzbildungen zu vermeiden. Gleichzeitig werden Umrichtersysteme umgerüstet und parametrisiert, indem erfolgreiche Lösungen aus dem Übertragungsnetz in die Verteilnetze transferiert werden, um auch bei extremen Lastbedingungen stabile Betriebsbedingungen zu gewährleisten.

Zudem wird an zuverlässigen Lösungen für die ungewollte Bildung von Inselnetzen gearbeitet, um das Risiko von Inselnetzen zu minimieren und gleichzeitig potenzielle Vorteile dezentral organisierter Netzstrukturen aufzuzeigen. Dies soll zur Wirtschaftlichkeit beitragen, ohne die Netzsicherheit und Zuverlässigkeit zu beeinträchtigen.

Abbildung 4: 1 MW AEM-Elektrolyseur am H₂ Terminal Braunschweig

Feldversuche zur netzdienlichen Integration von Batteriespeichersystemen und H₂ Speicherkraftwerken

Am 23. März 2023 begann der Bau des *Hydrogen Terminals Braunschweig*, der vom BMBF mit über 20 Millionen Euro gefördert wird. In einem Verbundprojekt, an dem das Steinbeis-Innovationszentrum (siz) energieplus und die Technische Universität Braunschweig mit sieben Forschungsinstituten und dem Geschäftsbereich Gebäudemanagement beteiligt sind, entsteht auf rund 4.700 Quadratmetern ein Forschungslabor. Dieses dient als Demonstrationsanlage für eine zukünftige Megawatt-Energiezentrale, die die gesamte Wertschöpfungskette von der Stromerzeugung mit erneuerbaren Energien bis zur Produktion von grünem Wasserstoff umfasst. Neben einem 1 MW AEM-Elektrolyseur werden ein 1,1 MW/1,1 MWh Batteriespeicher mit netzbildendem Stromrichter, eine 100 kWp Photovoltaikanlage, eine Wasserstofftankstelle, eine Kopplung an das Nahwärmenetz, Wasserstoffleitungen zu benachbarten Forschungseinrichtungen sowie diverse Prüfstände errichtet. Ziel des Projekts ist es, Forschungssynergien entlang der Wasserstoff-Wirkungskette zu bündeln und Aktivitäten in den Bereichen Wasserstoffherzeugung, -speicherung, -einspeisung, -verteilung, -rückverstromung in Brennstoffzellen sowie eine netzdienliche Integration in das europäische Stromnetz umzusetzen. Zentrale Fragestellungen umfassen hierbei die Abschätzung zur dynamischen Regelbarkeit von AEM-Elektrolyseuren in Kombination mit einem netzbildenden Batteriestromrichter. Dies bezieht sich auf eine

potenzielle Beteiligung am Primärregelmarkt oder der potenziellen Befähigung zur Momentanreserverbereitstellung.

Das Forschungsprojekt *GFI-Pilot* verfolgt hierbei ebenso das Ziel, netzbildende Batteriestromrichter in sämtlichen Spannungsebenen des Verteilnetzes zu pilotieren und Betriebsstrategien für diese Systeme zur Bereitstellung von Momentanreserve zu entwickeln.

Die umfangreichen Feld- und Simulationsstudien sollen einen wesentlichen Beitrag zur Einführung dieser Technologie sowie der Systemstabilität leisten. Für die Pilotierung wird ein Teilnetz in Thüringen genutzt, in dem bereits erfolgreich Schwarzstart- und Inselnetzbildung erprobt

wurden. In einem realen Netz werden alle Betriebsarten (Normalbetrieb, Inselnetzbetrieb und Netzwiederaufbau) getestet. Das Team konzentriert sich dabei auf die Untersuchung netzbildender Wechselrichter in der Niederspannung, analysiert die notwendigen betrieblichen Voraussetzungen, plant Mess- und Untersuchungsprogramme und führt Simulationen zur Bewertung von Störeignissen und dem Parallelbetrieb mehrerer Anlagen durch.

Abschließend werden Laboruntersuchungen sowie Feldtests durchgeführt und die gewonnenen Ergebnisse ausgewertet, um Empfehlungen zur flächendeckenden Einführung von netzbildenden Anlagen abzuleiten.



Abbildung 5: Gemeinsame Teamaktivität: Wattwanderung in Cuxhaven

Wir gratulieren zu
100 Jahren elenia Institut
an der TU Braunschweig

VIVAVIS
IT MEETS ENERGY

Komm in unser Team

Die VIVAVIS AG mit Sitz in Ettlingen ist seit 50 Jahren ein führender Anbieter für die Digitalisierung kritischer Infrastrukturen – insbesondere in der Energie- und Wasserversorgung.

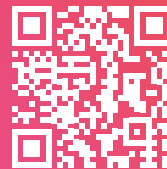
WIR BIETEN

- Berufseinstieg
- Fach- und Führungspositionen
- Abschlussarbeiten / Promotion
- Werkstudenten / Praktikum

UNSER ANGEBOT

- Corporate Benefits
- Weiterbildung
- Work-Life-Balance
- Flexibles Arbeiten

Nähere
Informationen
findest Du hier



www.vivavis.com

HYOSUNG HEAVY INDUSTRIES

How to light up the world? **Ask HYOSUNG**

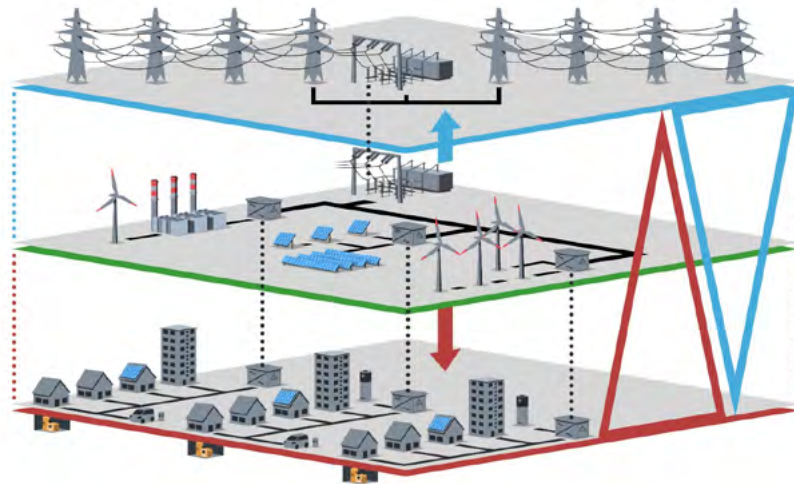
We are brightening the world with the very power technology that strengthens it.

With high quality products and services, Hyosung caters to customers in various energy fields around the world. From Transformers, switchgears and other high-quality power equipment to smart grid solutions such as HVDC, STATCOM, ESS, etc. we are leading the advancement in power transmission technology. By providing eco-friendly and renewable energy systems, such as high-efficiency motors and generators for wind power, we also take great pride in leading the field of green technology. With the "Global No. 1" mindset, we at Hyosung strive to better the global environment and its future through our challenges and endless innovations.

HYOSUNG HEAVY INDUSTRIES CORPORATION

Team Netzbetrieb und Netzplanung

Lukas Ebbert, Gerald Gebhardt, Nils Gräfer, Robin Herman,
Hartmudt Köppe, Merten Schuster.



Optimierung der Netzqualität, innovatives Blindleistungsmanagement und neue Planungsansätze in der Netzplanung.

Im Team Netzbetrieb und Netzplanung wurden insgesamt sieben Projekte mit acht Mitarbeitenden in den letzten zwei Jahren bearbeitet.

LISA4CL

Im Projekt LISA4CL wurde ein schnellladefähiges, induktives Ladesystem mit einer Ladeleistung von 22 kW, welches bestehende Normen berücksichtigt, entwickelt und im Realbetrieb praktisch erprobt. Dabei beschränkten sich die Forschungsarbeiten des elenia auf die Realisierung der Netz- und Systemintegration der Ladeinfrastruktur. Dies berücksichtigt erzeugungsorientierte und netzorientierte Ladekonzepte, um sowohl den Anteil von erneuerbaren Energien beim Laden zu erhöhen als auch die Netzurückwirkungen von Elektrofahrzeugen zu minimieren bzw. weiterhin eine hohe Netzstabilität zu gewährleisten. Zusätzlich wurden Konzepte entwickelt, die die Spannungsqualität in der Niederspannung positiv beeinflussen können. In Abbildung 01 sind die einzelnen Projektbestandteile dargestellt. Ergänzend wurden praxisnahe Betriebsszenarien analysiert, um das Zusammenspiel zwischen Ladeinfrastruktur, Energieversorgung und Fahrzeugen besser zu verstehen und daraus Handlungsempfehlungen für den künftigen breiten Einsatz induktiver Ladesysteme abzuleiten. Dabei wurden auch die Anforderungen durch den Einsatz der Fahrzeuge in der City Logistik mitberücksichtigt.

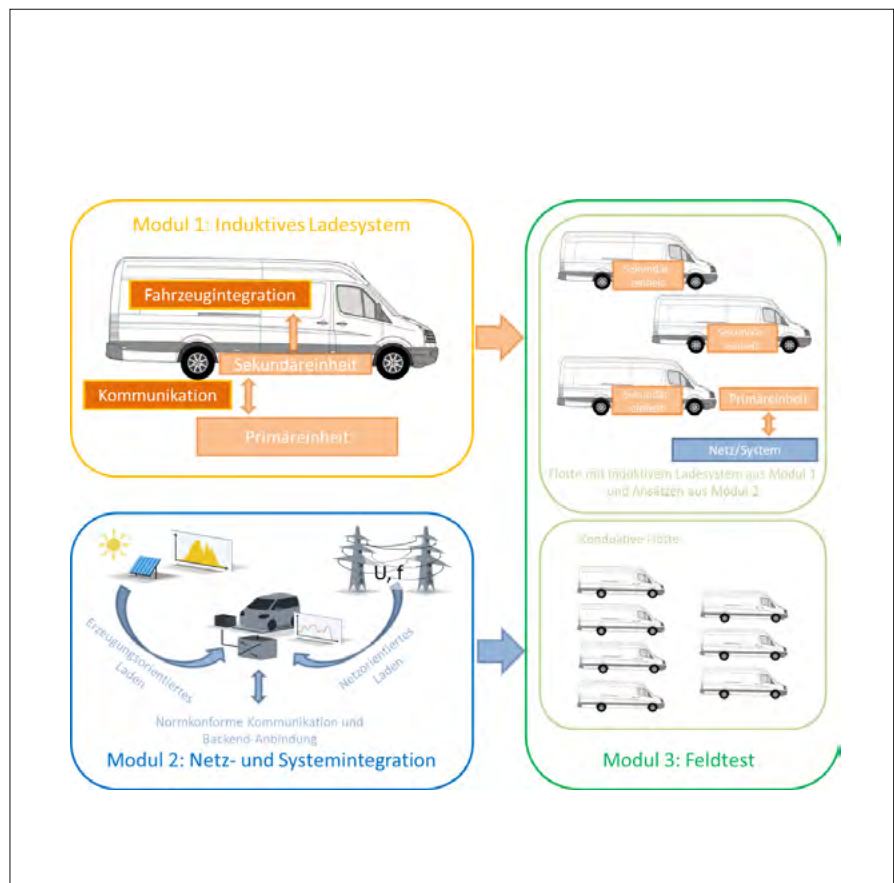


Abbildung 1: Forschungsinhalte im Projekt LISA4CL

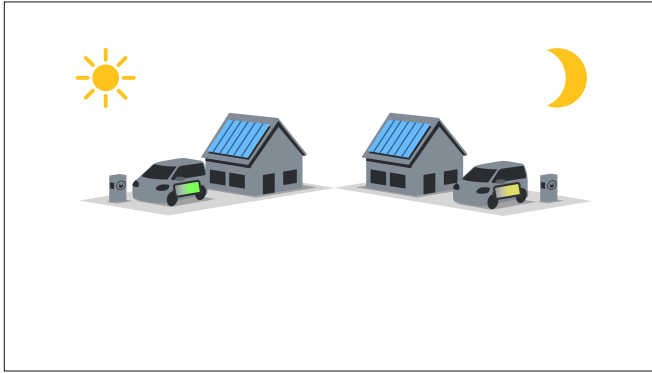


Abbildung 2: Beispielhafte Darstellung des Tag-Nacht-Ausgleichs der PV-Energie

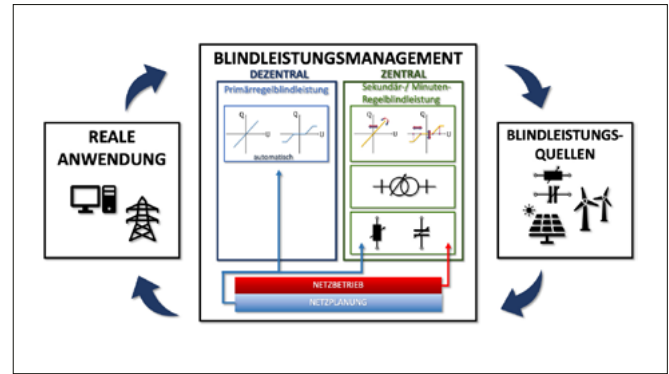


Abbildung 3: Schematische Darstellung eines Blindleistungsmanagements

NetFlexum

Das NetFlexum-Projekt untersucht, wie bidirektionales Laden zur Flexibilität und dem besseren Netzbetrieb beitragen kann. Elektrofahrzeuge (EVs) werden nicht nur als Verbraucher, sondern auch als Energiespeicher genutzt, um Lastspitzen auszugleichen und erneuerbare Energien effizienter zu integrieren. Der Fokus im NetFlexum-Projekt liegt dabei auf der Interaktion mit dem Netz, sodass sowohl wirtschaftliche und netztechnische Aspekte beim bidirektionalen Laden berücksichtigt werden. Wobei ausschließlich Prosumerhaushalte betrachtet werden, welche vorwiegend in der Niederspannung angeschlossen werden. Neben dem Tag-Nacht-Ausgleich der PV-Energie werden zusätzlich auch variable Stromtarife und externe Netzsignale mitberücksichtigt, um eine möglichst effiziente, nachhaltige und netzstabilisierende Nutzung der vorhandenen Ressourcen sicherzustellen. Dabei werden auch Alterungseffekte durch die Mehrnutzung der Infrastruktur und des Fahrzeugs hierbei berücksichtigt.

Q-Real

Das Blindleistungsmanagement (BM) gewinnt im Zuge der Energiewende an Bedeutung, da längere Übertragungswege und höhere Netzauslastungen den Blindleistungsbedarf erhöhen. Gleichzeitig sinkt die Bereitstellung durch konventionelle Synchrongeneratoren, während erneuerbare Energieanlagen (EEA) neue Potenziale bieten. Bisher werden diese nicht vollständig genutzt, da technische Richtlinien den Einsatz einschränken.

Das Projekt Q-REAL (bis 2025) konzentriert sich auf adaptive Regelverfahren, eine verbesserte Blindleistungsprognose und eine genauere Analyse der Verluste von EEA-Parks, um die wirtschaftlichen Effekte besser zu bewerten. Dabei werden sowohl die Anforderungen aus dem Verteilnetz, sowie die Anforderungen aus dem Übertragungsnetz gesamtheitlich betrachtet. Zusätzlich wird untersucht, wie durch koordinierte Steuerung und verbesserte Datenverfügbarkeit das Blindleistungsmanagement automatisiert und effizienter gestaltet werden kann.

PICNIC

Das Projekt PICNIC wird die praxisnahe und technologieoffene Ausgestaltung und Anforderungen einer effizienten Spannungsqualitätsregelung unter Berücksichtigung dezentraler Komponenten (Ladefunktion und Speichersystemen) und dezentraler intelligenter Messsysteme unter Berücksichtigung der sich hiermit ergebenden digitalen Ansteuerungsmöglichkeiten untersuchen. Im Teilvorhaben der TU Braunschweig wird das Ziel einer Erarbeitung von Regelungskonzepten verfolgt. Zusätzlich wird durch Vermessungen von Komponenten die Beeinflussung der Komponenten durch Spannungsqualitätsstörungen erforscht. Die erarbeiteten und im Konsortium konsolidierten Regelungen werden durch die TU Braunschweig in Heimspeichern und Ladeinfrastruktur implementiert, um eine positive Beeinflussung der Spannungsqualität durch die Regelungen zu forcieren.

Simulationen der gegenseitigen Beeinflussung der Regelungen geben Aufschlüsse über die zukünftige Netzintegration der Regelungen. Die Zusammenarbeit mit den Partnern ermöglicht die Umsetzung von Regelungen in und über intelligente Messsysteme (iMSys). Ein wichtiges Ziel besteht in den Feldversuchen mit den implementierten Regelalgorithmen in den eingebrachten iMSys. Diese Feldversuche geben eine Demonstration der Machbarkeit.

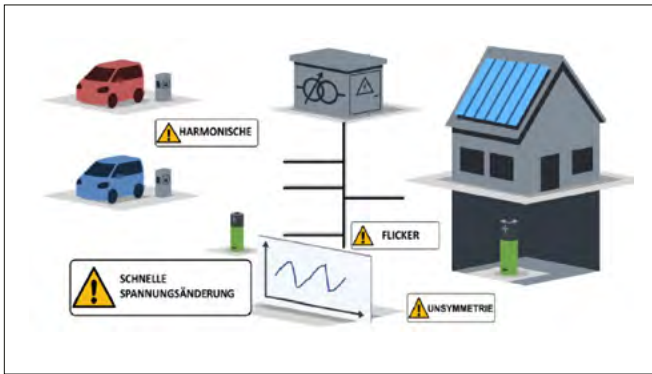


Abbildung 4: Komponenten und deren mögliche Einflüsse auf verschiedene Spannungsqualitätsmerkmale

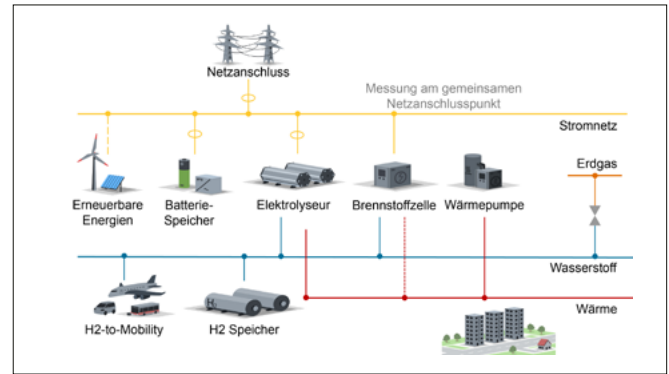


Abbildung 5: Schematische Darstellung des H2-Terminals

H2-Terminal

Das elenia erarbeitet wirtschaftliche, normative und technische Analysen zu den untersuchten Regelungen mit dem Ziel der Bewertung der bestmöglichen Regelstrategien.

Hierbei werden insbesondere die technischen Umsetzungen der Regelungen miteinander verglichen. Ein weiteres Ziel des elenia sind die Ableitung von Handlungsempfehlungen mit dem Fokus auf förderpolitische Handlungsempfehlungen. Die Ergebnisse sollen eine effiziente Spannungsqualitätsregelung unter Berücksichtigung dezentraler Komponenten (Ladefrastruktur und Speichersysteme) und dezentraler intelligenter Messsysteme aufzeigen. Einige der betrachteten Komponenten und Qualitätsmerkmale sind in Abbildung 4 dargestellt.

Das H2 Terminal Braunschweig, ein mit über 20 Millionen Euro gefördertes Forschungsprojekt, wird als Wasserstoff-Kompetenzzentrum angegliedert an die TU Braunschweig errichtet. Das Projekt ist ein Verbundvorhaben in Zusammenarbeit mit verschiedenen Instituten der TU Braunschweig, Uni Hamburg und dem Steinbeis-Innovationszentrum energieplus. Es umfasst ein Forschungslabor mit einer Demonstrationsanlage für die gesamte Wertschöpfungskette von grünem Wasserstoff, einschließlich Elektrolyse, Speicherung, Rückverstromung und Netzintegration.

Ein zentraler Fokus liegt dabei auf der ganzheitlichen und netzdienlichen Integration der unterschiedlichen Erzeuger und Sektoren. In Abbildung 5 ist der Komplex des H2-Terminals schematisch gezeigt.

SINED

Das Projekt SiNED untersucht die Integration von Prosumer-Haushalten (mit PV-Anlagen, Batteriespeichern, Wärmepumpen und E-Fahrzeugen) in das Stromnetz zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen (SDL) wie Spannungshaltung, Engpassmanagement und Frequenzstabilisierung.

Durch die zunehmende Dezentralisierung der Energieerzeugung können diese Haushalte aktiv zur Netzstabilität beitragen. Ziel ist es, die Flexibilität dieser Anlagen optimal zu nutzen, um Netzengpässe zu vermeiden und den Netzausbau zu reduzieren.

Das Projekt analysiert regulatorische, wirtschaftliche und technische Aspekte und entwickelt Simulationsmodelle, um die netzdienliche Steuerung von Prosumer-Anlagen zu verbessern. Erste Ergebnisse zeigen ein hohes Potenzial zur Verbesserung der Netzstabilität und Reduzierung des Regelleistungsbedarfs durch eine koordinierte Nutzung von Haushalts Flexibilitäten.

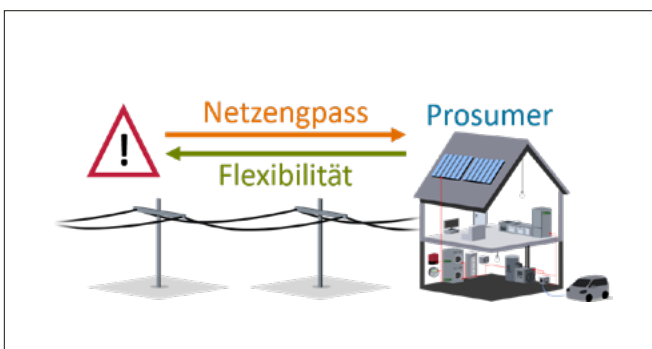


Abbildung 6: Reaktion eines Prosumers auf einen Netzengpass

Connect to Transform

Connect2Transform (C2T) ist ein Forschungsprojekt, das die Transformation der Wärme- und Kälteversorgung in Städten vorantreibt. Im Mittelpunkt steht die Braunschweiger Bahnstadt – ein 300 Hektar großes Gebiet rund um den Hauptbahnhof, das als Reallabor für die Energiewende dient.

Intelligente Vernetzung aller Komponenten und Technologien als ganzheitlich effizienter Transformations-Ansatz zum Erreichen von Klimaschutzziele

Das Besondere an C2T ist der ganzheitliche Ansatz: Statt einzelne Technologien isoliert zu betrachten, entwickeln wir ein System, in dem alle Komponenten, Produkte und Lösungen intelligent miteinander vernetzt sind und mit ihrer Leistungsfähigkeit gemeinsam zur Klimaneutralität beitragen. Von der Großwärmepumpe über Wasserstoffelektrolyse bis zum saisonalen Wärmespeicher – alles kommuniziert und arbeitet zusammen.

Ein Konsortium aus Wissenschaft, Wirtschaft und Stadtentwicklung arbeitet ge-

meinsam an dieser Vision. Unter der Leitung des SIZ energieplus werden neue technische Lösungen entwickelt und erprobt. Dabei geht es nicht nur um die technischen Aspekte, sondern auch um die sozialen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen.

Interdisziplinäre Zusammenarbeit von Wirtschaft, Wissenschaft, Verwaltung, Politik und Bürgerschaft als nachhaltig zukunftsweisendes Erfolgsmodell

Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderte Projekt C2T ist Teil des 7. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung und wurde im Rahmen des Förderaufrufs „Klimaneutrale Wärme und Kälte“ bewilligt. Die För-

derung ermöglicht es den beteiligten Partnern aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Stadtentwicklung zusammen mit den Bürgern der Stadt Braunschweig innovative Lösungen für die klimaneutrale Wärme- und Kälteversorgung zu entwickeln und soll Modellcharakter entwickeln: Was in der Bahnstadt gelingt, soll später auch in anderen Städten umgesetzt werden können.

C2T leistet damit einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele im urbanen Raum. Mehr Effizienz, Wirtschaftlichkeit und Qualität durch standardisierte Planungsvorgaben für öffentliche und private Bauherren.

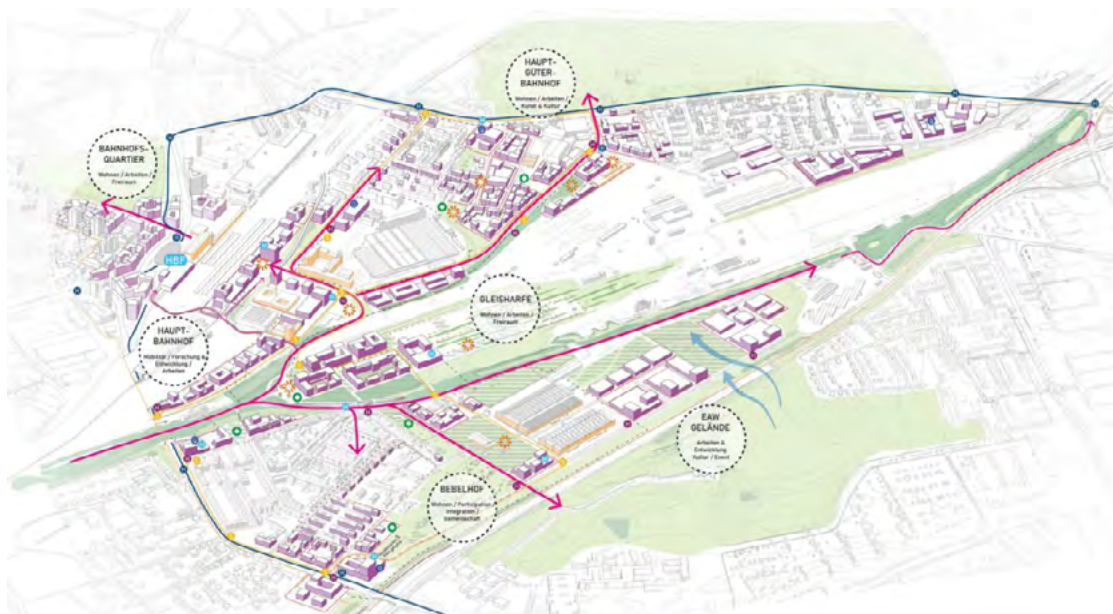


Abbildung 7: Darstellung des untersuchten Bahnquartiers

Prosumer

Elektromobilität

PV-Speichersysteme

eel

eleniaenergylabs
ENERGIEMANAGEMENT-LABOR

Power-To-Heat

Lademanagement

IKT & Messsysteme

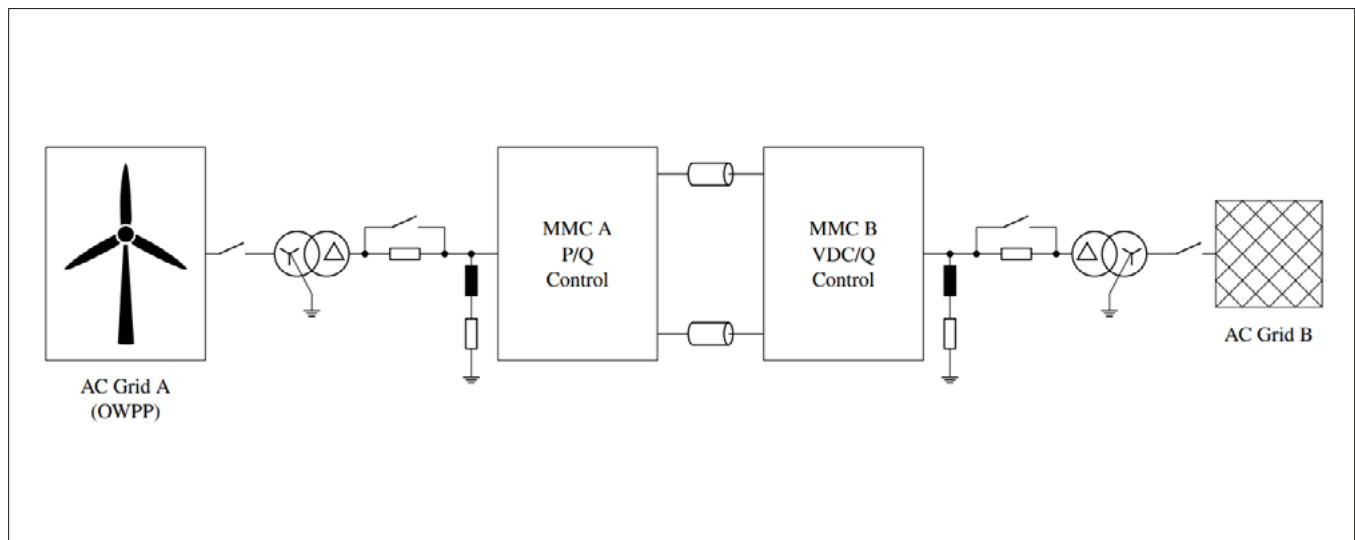






Promotionen

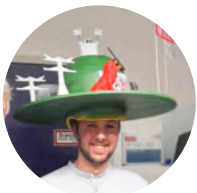
Marc René Lotz	80
Patrick Vieth	81
Felix Klabunde	82
Enno Peters	83
Timo Meyer	84
Gian-Luca Di Modica	85
Cornelius Biedermann	86
Julia Gartner	88
Nils Müller	89
Robin Grab	90
Tobias Kopp	91



Team DC Systeme und Schaltgeräte

Marc René Lotz

Systematic Development of a Laboratory-Scale HVDC System with Power-Hardware-in-the-Loop Simulation Capabilities for the Validation of Control and Protection Principles



Durch die Fortschritte in der Nutzung von HVDC-Systemen existieren weitreichende Forschungsaktivitäten mit dem Ziel, den Technology Readiness Level (TRL) der zugehörigen Technologien zu erhöhen. Im Bereich von Regelungs- und Schutzkonzepten für komplexe HVDC-Systemkonfigurationen und bei der Analyse von AC/DC-Systeminteraktionen sind Entwicklungen auf einer Stufe, welche Demonstrationen in Laborumgebungen verstärkt erfordern. Um die dafür notwendige Komplexität der laborskalierten Demonstratoren zu erreichen, sind PHiL-Simulationen (Power-Hardware-in-the-Loop) wesentlich.

Es zeigt sich, dass es bei den Forschungsaktivitäten häufig an einer holistischen Beschreibung mangelt, die sich sowohl auf die Demonstration von laborskalierten HVDC-Systemen als auch auf PHiL-Simulationen von Modular Multilevel Converters (MMCs) bezieht. Daher wurde mit dieser Arbeit ein

systematischer und holistischer Entwicklungsprozess verfolgt, so dass nicht nur eine detaillierte Beschreibung zur Implementierung von PHiL-MMC-Simulationen mit Stabilitätsanalyse und Interface-Design vorliegt, sondern auch ein Demonstrator entwickelt wird, der ein laborskaliertes HVDC-System repräsentiert, das die Validierung von Regelungs- und Schutzkonzepten auf aussagekräftige Weise ermöglicht. Dies liefert einen wesentlichen Beitrag für die Durchführung von Studien an HVDC-Systemen, die für eine Erhöhung des TRL essenziell sind.

Um das Vertrauen in die Anwendung von PHiL-Simulationen in diesem Forschungsbereich zu fördern, wurde ein MMC des laborskalierten Demonstrators in Form einer PHiL-MMC-Simulation implementiert, welche in dieser Arbeit ebenfalls entwickelt wurde. Dafür wurde das PHiL-Testbed detailliert charakterisiert, darunter ein Echtzeitsimulator (RTS) und ein Leistungsverstärker sowie Delays, die durch Kommunikationsinterfaces und das Timing der Berechnungen von Modellgleichungen auftreten können. Typen von MMC-Simulationsmodellen wurden bewertet,

was zu der Implementierung eines selbst entwickelten Type-4-Modells auf dem RTS führte. Mit der Entwicklung von vergleichbaren Subsystemen konnte der Reifegrad von PHiL-Simulationen analysiert werden, mit Bezug auf die Machbarkeit für die Repräsentation eines Hardware-MMC in der Laborumgebung.

Marc René Lotz

AM ELENIA IN DER ZEIT

2020–2025

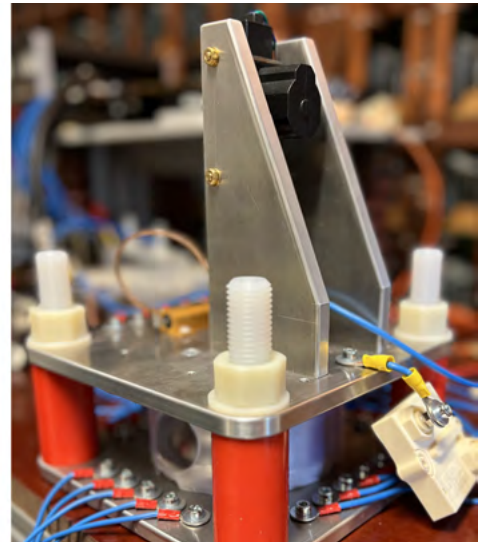
TÄTIGKEITEN AM ELENIA

- Projekt SiNED – Systemdienstleistungen für sichere Stromnetze in Zeiten fortschreitender Energiewende und digitaler Transformation
- Projekt PROSECCO – DC Protection, Security, Control and Optimisation
- Power-Hardware-in-the-Loop-Simulationen von laborskalierten HGÜ-Systemen

JETZT TÄTIG BEI

- TenneT TSO GmbH





Team DC Systeme und Schaltgeräte

Patrick Vieth

Experimental Research and Modeling of Plasma Recovery in DC Hybrid Switching Devices

Nach wie vor basiert ein Großteil unserer Energieversorgung auf fossilen Brennstoffen. Um den daraus resultierenden Klimawandel zu verlangsamen, wird der Anteil erneuerbarer Energien stetig erhöht. Außerdem wird die Energieeffizienz erhöht, um den Energieverbrauch insgesamt zu senken. Ein vielversprechender Ansatz zur Erhöhung der Effizienz ist die Umstellung industrieller Netze von Wechselspannung (AC) auf Gleichspannung (DC). Gleichspannungsnetze erlauben eine einfache Integration erneuerbarer Energiequellen und Energiespeicher. Zudem besteht die Möglichkeit, überschüssige Energie aus Produktionsprozessen direkt rückzuspeisen.

Für einen sicheren und zuverlässigen Betrieb sind allerdings geeignete Schaltgeräte erforderlich. Mechanische Schaltgeräte weisen einen minimalen Durchlasswiderstand im eingeschalteten Zustand und eine galvanische Trennung im ausgeschalteten Zustand auf, sind jedoch vergleichsweise langsam. Halbleiterschaltgeräte zeichnen sich zwar durch eine hohe Schaltgeschwindigkeit und Lichtbogenfreiheit aus, weisen jedoch vergleichsweise hohe Durchlassverluste auf und sind empfindlich gegenüber Überspannungen. Um die Vorteile beider Technologien zu vereinen, werden heute Hybridschalter eingesetzt, die beide Schalt-

gerätetopologien kombinieren. Sie bieten niedrige Verluste im eingeschalteten Zustand und hohe Schaltgeschwindigkeiten. Damit sind sie ein entscheidender Baustein für leistungsfähige Gleichstromnetze der Zukunft.

Ziel dieser Arbeit ist die Optimierung von Hybridschaltgeräten, um die Schaltgeschwindigkeit zu erhöhen und die Kosten zu senken. Der Fokus lag dabei auf dem mechanischen Teil des Hybridschaltgerätes. Untersucht wurde, wie sich das beim Ausschalten entstehende Plasma des Lichtbogens in Luft wieder verfestigt. Dazu wurde ein bestehender Laboraufbau angepasst (siehe Titelbild), um verschiedene Szenarien im Rahmen statistischer Versuchsplanung darzustellen. Außerdem wurde eine Methode zur Messung der Durchbruchspannung entwickelt.

Es zeigte sich, dass sogenannte Sofortverfestigungseffekte, die sonst beim Lichtschalter genutzt werden, auch bei DC-Schaltgeräten angewendet werden können. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass die Auswahl des Überspannungsschutzes die Ausschaltgeschwindigkeit signifikant beeinflusst. Zur Erklärung dessen wurde ein semi-empirisches Simulationsmodell auf Basis von Ladungsträgerbewegungen entwickelt. Sowohl der Aufbau als

auch das Modell können in zukünftigen Projekten weiter genutzt werden, um den Ausschaltprozess von Hybridschaltgeräten zu optimieren. Dadurch kann die Attraktivität von DC-Netzen weiter gesteigert werden, um einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten.

Patrick Vieth

AM ELENIA IN DER ZEIT

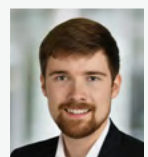
2021 – 2025

TÄTIGKEITEN AM ELENIA

- Mitarbeit und Teamleitung (2023–2024) vom DC Systeme und Schaltgeräte Team
- Bearbeitung der Projekte PEEL, SMS II und UPS
- Experimentelle Untersuchung und Modellierung von Hybridschaltgeräten

JETZT TÄTIG BEI

- Nexans Deutschland GmbH als Leiter des Hochspannungsprüffeldes





Team Energiewirtschaft und Energiemanagement

Felix Klabunde

Technisch-wirtschaftliche Analyse der Energieversorgung mobiler Arbeitsmaschinen mit postfossilen Antriebssystemen in der Landwirtschaft

Als einer der Hauptakteure der dezentralen Energieerzeugung kommt der Landwirtschaft bereits heute eine wichtige Rolle in der Energiewende zu. Neben den weitverbreiteten Photovoltaik- und Windenergieanlagen ermöglichen landwirtschaftlich betriebene Biomassekraftwerke die Bereitstellung wetterunabhängiger elektrischer und thermischer Energie. Der Betrieb der Landmaschinen ist hingegen noch vom Einsatz fossiler Kraftstoffe geprägt. Zur Reduktion des Kraftstoffeinsatzes können zukünftig alternative Antriebssysteme eingesetzt werden, die anteilig über lokale erneuerbare Energien und das Stromnetz versorgt werden.

Im Rahmen der Dissertation wird die Transformation eines landwirtschaftlichen Maschinenparks vom Dieselbetrieb hin zu alternativen Antriebssystemen simulativ untersucht. Der Fokus liegt dabei auf der technisch-ökonomischen Untersuchung der Energieversorgung durch erneuerbare Energien und dem Stromnetz. Für batteriebetriebene Landmaschinen wird ein Batteriewechselkonzept untersucht, wodurch das Nachladen von den Maschineneinsätzen entkoppelt wird. Die Wechselbatterien ermöglichen die direkte Nutzung elektri-

scher Energie innerhalb der Maschine und werden interoperabel in verschiedenen Maschinentypen eingesetzt. Die Simulationen zeigen darüber hinaus, dass der Batteriebetrieb nicht für alle Maschinentypen infrage kommt und schwere Arbeiten in der Feldbewirtschaftung andere Antriebssysteme benötigen. Ein derartiges Antriebssystem kann der Kabelbetrieb sein, bei dem die Landmaschine kontinuierlich mit Energie versorgt wird. Dieses System eignet sich hingegen nicht für mobile Arbeiten (z. B. Transportfahrten). Solche Arbeiten können von Landmaschinen mit Wechselbatterien oder Brennstoffzellen durchgeführt werden, wobei bei letzterem keine direkte Eigenversorgung über erneuerbare Energien ohne vorherige Elektrolyse bzw. Dampfreformierung möglich ist. Im Rahmen der durchgeführten Netzberechnungen wird zudem gezeigt, dass die Umstellung auf elektrische Antriebssysteme einen Mittelspannungsanschluss des Landwirtschaftsbetriebs grundsätzlich voraussetzt.

Die Wirtschaftlichkeit alternativ betriebener Landmaschinen ist im Vergleich zu dieselbetriebenen nur unter der Annahme fallender Kostenbestandteile und steigender Dieselskosten gegeben. Gleichzeitig können

gezielte Subventionen und Gesetze dazu beitragen, die Transformation zu alternativen Antriebssystemen in der Landwirtschaft zu beschleunigen.

Felix Klabunde

AM ELENIA IN DER ZEIT

2020–2024

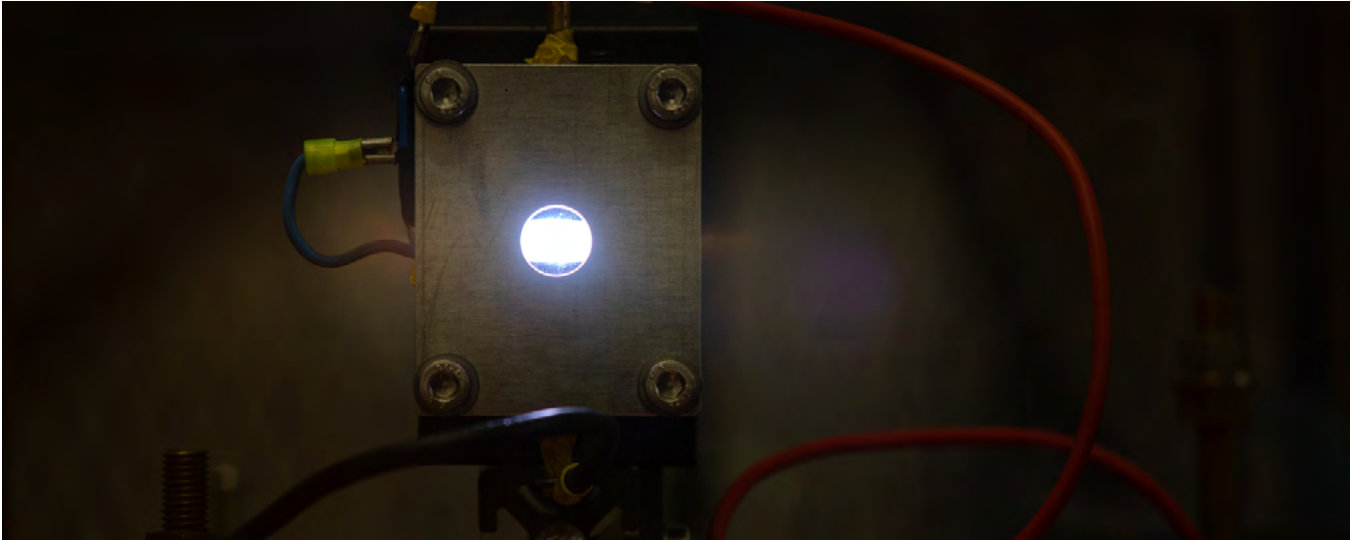
TÄTIGKEITEN AM ELENIA

- Bearbeitung des Forschungsprojektes Energy-4-Agri
- Arbeitsgruppenleiter Energiesysteme 2022–2024
- Teamleiter Energiewirtschaft und Energiemanagement 2021–2022

JETZT TÄTIG BEI

- TenneT TSO GmbH im Asset Management als Asset Strategist





Team Hochspannungs-, Vakuum & Plasmatechnik

Enno Peters

Untersuchung des transienten Abklingverhaltens der Plasmeeigenschaften von Funkenstrecken nach Stoßstromanregung

Im Zuge der Energiewende steigt die Kurzschlussleistung in den Versorgungsnetzen aufgrund einer zunehmenden Anzahl an dezentralen Erzeugungsanlagen an. Im gleichen Zuge steigt die Digitalisierung, sodass sich intelligente Netze (smart Grids) bilden, welche sensitives elektronisches Equipment in das moderne Niederspannungsnetz der Zukunft einbringen.

In einem überspannungsbedingten Fehlerfall können sowohl hochfrequente als auch netzfrequente Überströme entstehen, begleitet von Spannungen im Bereich einiger Kilovolt. Diese hohen Störspannungen beanspruchen alle Isolationsstrecken im Niederspannungssystem und verursachen bei Versagen ein hohes Schadenspotenzial.

Ein Blitzschutzsystem bietet als Konsequenz einen Schutz vor mechanischen und thermischen Schäden. Um ein vollständiges Blitzschutzkonzept zu erhalten, muss ein äußerer und innerer Blitzschutz vorhanden sein, wobei der sogenannte Typ-1-Ableiter (Blitzstromableiter) die höchsten Anforderungen erfüllen muss.

Dabei ist die Aufgabe eines Blitzstromableiters kurzfristig einen parallelen Pfad zwischen der Phase und der Potentialausgleichschiene herzustellen. Nachdem die eingepreiste Energie des Blitzes abgeleitet ist, soll der Ableiter idealerweise instantan

in einen isolierenden Zustand zurückkehren und eine galvanische Trennung wiederherstellen. Dies stellt einen unterbrechungsfreien Betrieb auch während einer Störung sicher.

In dieser Arbeit liegt der Fokus auf dem Zeitfenster nach Abklingen der Stoßstromanregung. Kehrt die Schaltstrecke nicht schnell genug in den isolierenden Zustand zurück, fließt ein über das Versorgungsnetz getriebener Netzfolgestrom als Kurzschluss, der im ungünstigsten Szenario zum Versagen der Schutzfunktion führen kann.

Das Ziel der experimentellen Untersuchung dieser Arbeit ist es, ein umfassendes Verständnis der Wiederverfestigungsphase und ihrer Beeinflussung durch einen variierenden Satz an Eingangsparametern zu entwickeln. Dabei werden aus experimentellen Daten erstellte Teilmodelle verwendet, um thermodynamische und transportrelevante Größen wie eine Plasmatemperatur und Massendichte zu berechnen. Diese werden genutzt, um datengetriebene Black-Box-Modelle durch physikalisch fundierte Parameter zu einem hybriden Modell zu erweitern. Sobald das Verhalten der Plasmeeigenschaften und deren Beeinflussung durch die Eingangsparameter bekannt ist, kann dieses Wissen gezielt auf die Materialien der Kammerwand sowie auf die Kon-

taktmaterialien angewendet werden. Dies ermöglicht eine Steigerung des Ausschaltvermögens sowohl in der Hochstrom- als auch in der Wiederverfestigungsphase. Insbesondere kann die Netzfolgestromlöschfähigkeit verbessert werden, was eine höhere Zuverlässigkeit über die gesamte Lebensdauer zur Folge hat.

Enno Peters

AM ELENIA IN DER ZEIT

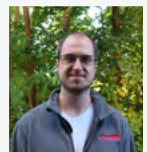
2018–2023

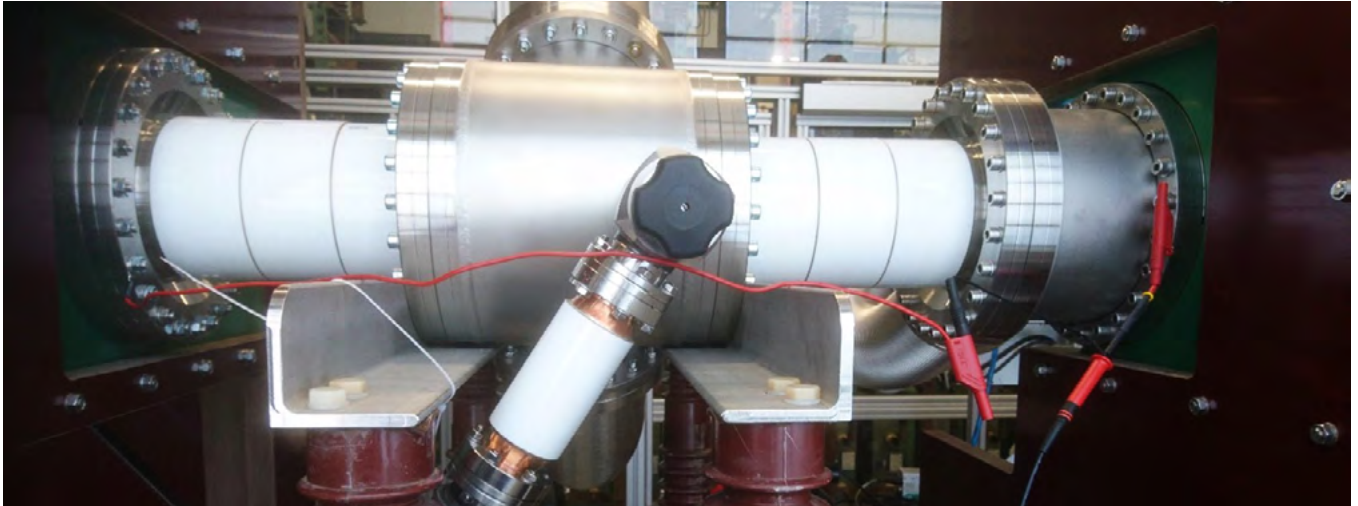
TÄTIGKEITEN AM ELENIA

- Arbeitsgruppenleiter Energietechnologien (2022–2023) & Teamleiter HVP (2020–2022)
- Bearbeitung Forschungsprojekte mit Industriepartnern Phoenix Contact GmbH & Co. KG und ABB
- Untersuchung der Wiederverfestigung von Blitzstromableitern im Verteilnetz

JETZT TÄTIG BEI

- Avacon Netz GmbH im Assetmanagement Hochspannung





Team Hochspannungs-, Vakuum & Plasmatechnik

Timo Meyer

Breaking current analysis of test circuit measurements at zero crossing for vacuum interrupters



Um das Treibhausgas Schwefelhexafluorid in Hochspannungsschaltern als Schaltmedium zu ersetzen, wird der Vakuumschalter als Alternative weiterentwickelt. Der Vakuumschalter hat jedoch seine Grenzen. Weiterentwicklungen in den Kontaktabständen, Serienanordnungen oder Schalttrajektorie sind von Nöten. Diese Weiterentwicklung muss anhand von Kriterien bewertet werden, die eine erfolgreiche Ausschaltung beurteilt.

Diese Dissertation untersucht die Messung und Analyse von Nachströmen als Grenzkriterium, die nach einer Stromabschaltung im Vakuum als Folge verbleibender Ionen und Elektronen entstehen. Wenn die restlichen Ladungsträger nicht schnell genug abgebaut werden, kann es zu einer Wiederezündung kommen, was eine erfolgreiche Abschaltung verhindert. Besonders herausfordernd ist die effektive Messung dieser kleinen Nachströme (1–10 A) nach hohen Kurzschlussströmen (>1 kA). Eine neue Methodik zur Trennung des Nach-

stroms von messkreisbedingten Störeinflüssen wird entwickelt, wodurch präzisere Analysen ermöglicht werden und das Ergebnis erstmals vergleichbar und rückführbar wird. Diese Relevanz ist besonders für die Anwendung als Hochspannungsschalter essenziell, da Streukapazitäten einen großen Einfluss haben.

Die Studie zeigt die von Messfehlern bereinigte Korrelation der Nachströme mit höheren Kurzschlussströmen und komplexem Lichtbogenverhalten, was neue Einblicke in zukünftige Anwendungen von Vakuumschaltern in Hochspannungssystemen bietet. Die Studie untersucht Kurzschlussströme von bis zu 15 kA_{RMS} bei Standardkontaktabständen von 10 mm.

Abschließend können die Ziele dieser Dissertation als erfolgreich betrachtet werden. Die Methodik zeigt eine erfolgreiche Separierung des Nachstroms von Störeinflüssen. Es wird gezeigt, dass eine Korrelation zwischen Nachstrom und Kurzschlussstrom existiert, aber erst mit steigenden Bogenaktivität in Form eines kontrahierten Vakuumbogens signifikant ansteigt. Ohne diese Aktivität werden messkreisbedingte Einkopplungen gemessen und der eigentlich Nachstrom, der Rückschlüsse auf die Plasmadichte hat, nur gering ansteigt. Dadurch wird eine Analyse des Stromverhaltens verbessert und ebnet einen Weg

für zukünftige Messungen hinsichtlich des Einsatzes des Vakuumschalters in höheren Spannungsebenen oder Gleichspannungssystemen. Hierdurch werden tiefere Einblicke in die Dynamik des Nachstroms und deren praktische Anwendungen ermöglicht.

Timo Meyer

AM ELENIA IN DER ZEIT

2019–2025

TÄTIGKEITEN AM ELENIA

- Teamleiter HVP (2021–2023)
- Bearbeitung Forschungsprojekt mit Industriepartner ABB: „Experimentelle Untersuchung einer Einfach- und Doppelunterbrechung Ausgerüstet mit AMF- oder TMF-Kontaktstücken in einer Vakuumumgebung“
- Bearbeitung DFG-Projekt: „Erweiterte Magneto-Optische Lichtbogen-Analyse“
- Bearbeitung BMWK-Projekt: „Green Energy Technology for Medium Voltage Distribution Grids“

JETZT TÄTIG BEI

- Siemens Energy





Team Netzbetrieb und Netzplanung

Gian-Luca Di Modica

Technische Methoden für das Laden von Elektrofahrzeugen zur Reduzierung von Spannungsunsymmetrie in Niederspannungsnetzen

In den letzten Jahren steht die statische Spannungshaltung, die sich mit der Reduzierung von langsamen Spannungsänderungen befasst, als ein Kernelement der Versorgungsqualität im Fokus. Hintergrund sind Überspannungen in der Niederspannungsebene durch hohe PV-Einspeisung, aber auch Unterspannungen infolge einer steigenden Anzahl von Elektrofahrzeugen. Zusätzlich zu langsamen Spannungsänderungen existieren weitere Spannungsqualitätsmerkmale wie Unsymmetrie und Oberschwingungen, die für eine hohe Versorgungsqualität von zentraler Bedeutung sind. Eine negative Beeinflussung dieser Merkmale durch eine ansteigende Durchdringung von Elektrofahrzeugen und PV-Anlagen ist ebenfalls möglich. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf dem Merkmal Spannungsunsymmetrie.

In dieser Arbeit werden verschiedene Regelungsmethoden für das Laden von Elektrofahrzeugen zur Spannungsunsymmetriereduzierung in Niederspannungsnetzen untersucht sowie deren Auswirkungen auf langsame Spannungsänderungen. Es werden die aus dem Bereich dezentraler Energieerzeugung bereits definierten Methoden konstanter Verschiebungsfaktor, wirkleistungsabhängige Verschiebungsfaktorregelung, spannungsabhängige Blindleistungsregelung und spannungsabhän-

gige Wirkleistungsregelung betrachtet. Für die spannungsabhängigen Methoden wird neben dem symmetrischen Ansatz für dreiphasiges Laden eine phasengenaue Umsetzung getestet, bei der jede Phase separat geregelt wird. Der phasengenaue Ansatz wird auch für die Anwendung beim ein- und zweiphasigen Laden untersucht. Die Methoden, die den Verschiebungsfaktor regeln, werden ebenfalls beim dreiphasigen als auch beim ein- und zweiphasigen Laden untersucht. Darüber hinaus wird eine Blindleistungsregelung in Abhängigkeit der Phasenverschiebungen der Spannungen entwickelt.

Die Untersuchungen erfolgen zunächst simulativ mit einem Netzmodell für ein ländliches Niederspannungsnetz und einem entwickelten Elektrofahrzeugmodell, das die Methoden umsetzt. Außerdem wird ein Prototyp aufgebaut, um die Methoden in realitätsnaher Umgebung im Labor zu testen. Der Prototyp implementiert die Methoden und berücksichtigt auch die Ladekommunikation zwischen Elektrofahrzeug und Ladepunkt. Die Ergebnisse zeigen, dass zur Reduzierung von Spannungsunsymmetrie die phasengenaue spannungsabhängige Wirkleistungsregelung und die Blindleistungsregelung in Abhängigkeit der Phasenverschiebung am effektivsten sind. Im Hinblick auf statische Spannungs-

haltung bewirken die phasengenaue, spannungsabhängige Wirkleistungsregelung und die phasengenaue, spannungsabhängige Blindleistungsregelung die stärkste Verringerung von Spannungsänderungen. Die Auswirkungen der Methoden sind von diversen Einflussfaktoren abhängig, wie z. B. dem Ursprung der Spannungsunsymmetrie. Vor einem Einsatz ist die Eignung der jeweiligen Regelungsmethode im Anwendungsfall zu prüfen.

Gian-Luca Di Modica

AM ELENIA IN DER ZEIT

2018–2025

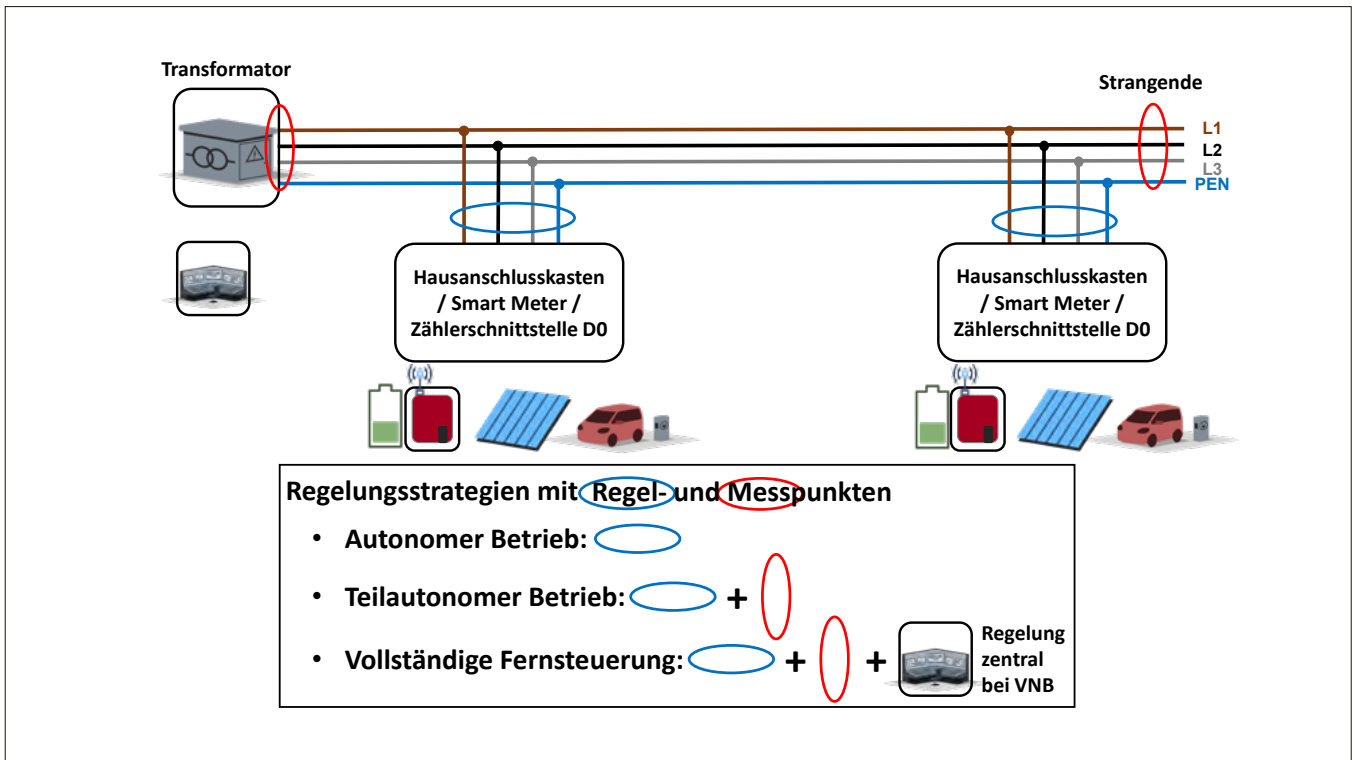
TÄTIGKEITEN AM ELENIA

- Mitarbeit im Schwerpunkt Aktives Verteilnetz und im Team Netzbetrieb und Netzplanung
- Bearbeitung der Projekte U-Quality und LISA4CL
- Forschung im Bereich Netzintegration von Elektrofahrzeugen

JETZT TÄTIG BEI

- Avacon Netz GmbH als Ingenieur für Netzplanung im Assetmanagement Hochspannung





Team Netzbetrieb und Netzplanung

Cornelius Biedermann

Senkung einer dynamischen Unsymmetrie in Niederspannungsnetzen durch Batterieenergiespeichersysteme – wirtschaftliche, normative und technische Betrachtung und Laborumsetzung

Im Zuge der Energiewende kommt es zu einer verstärkten Elektrifizierung und einem Anstieg aller – auch einphasig betriebener – Komponenten wie Wärmepumpen, Elektrofahrzeuge und PV-Anlagen. Die auftretende Gegensystemspannungsunsymmetrie in Niederspannungsnetzen darf den normativ definierten Grenzwert von 2 % nicht überschreiten. Neben einer dauerhaften Unsymmetrie führt das Komponentenverhalten zu einer dynamischen Unsymmetrie.

Diese Dissertation entwickelt, analysiert und implementiert eine Regelung in Niederspannungsnetzen mit Batterieenergiespeichersystemen (BESS) zur Reduzierung dynamischer Unsymmetrie.

Die grundlegenden Kenntnisse zur Spannungsunsymmetrie, ihre Grenzwertbe-

stimmung, ihre Ursachen und Auswirkungen werden beschrieben. Des Weiteren wird der Aufbau von BESS dargestellt. Studien und eigene Feldmessungen zur Unsymmetrie liefern umfassende, praktische Erkenntnisse.

Zudem wird der Einfluss von Spannungshaltungskonzepten auf die Unsymmetrie untersucht. Die dreiphasige $Q(U)$ Regelung reduziert in geringem Maße die Gegensystemspannungsunsymmetrie. Eine einphasige $Q(U)$ Regelung mit einphasiger Spannungsmessung ist zur Unsymmetrieregulation ungeeignet. Es zeigt sich, dass für eine gesicherte Funktionalität einer einphasigen Unsymmetrieregulation sowohl Wirk- als auch Blindleistungseinstellungen und eine dreiphasige Messung notwendig sind. Anhand dieser Erkenntnisse und ana-

lysierter Rahmenbedingungen erfolgt die Entwicklung der Unsymmetrieregulation mit BESS.

Die Regelungsstrategie bildet ein autonomen Betrieb eines BESS bei einphasigem Anschluss, der Spannung und Phasenwinkel am Anschlusspunkt dreiphasig misst. Die Wirk- und Blindleistungseinstellungen sind entkoppelt und regeln die Spannungsamplitude sowie den Phasenwinkel. Weitere Anforderungen, z. B. an die zeitliche Anforderung der Regelung, sind in der Entwicklung beachtet. Die Spannungshaltungsfunktion wird über die Unsymmetriereduzierung gestellt. Der Aufbau der Regelung ergibt sich durch die Messwertaufnahme, Sollwertbildung und das Einbringen einer Spannungshaltung in zwei Unsymmetriereduzierungen.



Wir gratulieren zu **100 Jahren**
elenia Institut an der TU Braunschweig



Innovate today. Lead tomorrow. Lighting the Way ahead together



TenneT ist ein führender europäischer Netzbetreiber. Wir setzen uns für eine sichere und zuverlässige Stromversorgung ein – 24 Stunden am Tag, 365 Tage im Jahr.

Du bekommst bei uns die Chance, Deine Ideen in die Tat umzusetzen und die Energiewende aktiv mit voranzutreiben – für eine nachhaltige, zuverlässige und bezahlbare Energiezukunft.

www.tennet.eu



Durch die Regelung kann die Nullsystem- und auch die Gegensystemspannungsunsymmetrie gesenkt werden. Die Reduzierungsfunktion erfolgt durch eine MATLAB-Funktion „fminsearch“. Zur Reduzierung der Unsymmetrie wird die Gegensystem- etwa drei- bis viermal stärker als die Nullsystemspannungsunsymmetrie priorisiert.

In Laboruntersuchungen wird die Funktion nachgewiesen und in definierten Szenarien erprobt. Die Szenarien bestehen aus unsymmetrischen Netzbelastungen, verringerten Netzspannungen sowie eine Variation der Anzahl und Leistungen der BESS.

Die durchgeführten Simulationen an kleinen Netzen geben Einschätzungen zu notwendigen Leistungs- und Energiebedarfen der Regelung in realen Niederspannungsnetzen. Die BESS benötigen für eine Verbesserung der Gegensystemspannungsunsymmetrie von mehr als 0,2% Punkten im Durchschnitt etwa ein Drittel an relativer Leistung im Vergleich zur unsymmetrischen Last. Verbesserungen von etwa 1,8% Punkte wurden im Maximum erreicht. Somit sind BESS mit mehreren Systemdienstleistungen und die Anteile für eine Mehr-

fachnutzung (Multi-Use) im BESS für den Anteil der Unsymmetrie mitgedacht.

Der Einsatz von BESS benötigt eine finanzielle Anregung für deren Besitzer. Eine solche finanzielle Entschädigung wird ermittelt. Die wirtschaftlichen und normativen Untersuchungen liefern Implementierungsmöglichkeiten zur Realisierung der Regelung in vorhandenen Netzinfrastrukturen.

Die BESS Besitzer und der Verteilnetzbetreiber (VNB) priorisieren unterschiedliche wirtschaftliche Aspekte. Es gibt keinen eindeutig zu ermittelnden Preis der Kosten der Unsymmetrieeinflüsse. Eine Entschädigung für die Aufwände der BESS Besitzer ist in der Arbeit gefunden. Die Kosten zur Unsymmetrieregulierung könnten durch den VNB an den BESS Besitzer als Energieausgleich erfolgen. Dabei wird die Energie als Verlustenergie vom VNB eingekauft, wobei diesem Kosten bei hoher Unsymmetrie im Bereich der Spannungshaltungskosten von einer $Q(U)$ Regelung z.B. von wenigen Euro im Jahr entstehen. Die zu erwartenden Kosten für den VNB sind bei seltener dynamischer Unsymmetrie gering. Somit entsteht eine volkswirtschaftlich erschwingliche Lösung zur Unsymmetriereduzierung.

Die Ausgleichsenergie wird durch einen Faktor von 1,5 der aus dem Netz beziehbaren gegenüber der eingespeisten Energie ermittelt. Zur Anpassung bedeutsamer Normen und Richtlinien sind konkrete Formulierungen erarbeitet worden.

Eine Verbesserung dynamischer Unsymmetrie in Niederspannungsnetzen mit Batterieenergiespeichersystemen ist mittels der entwickelten Regelung möglich.

Cornelius Biedermann

AM ELENIA IN DER ZEIT

2019–2025

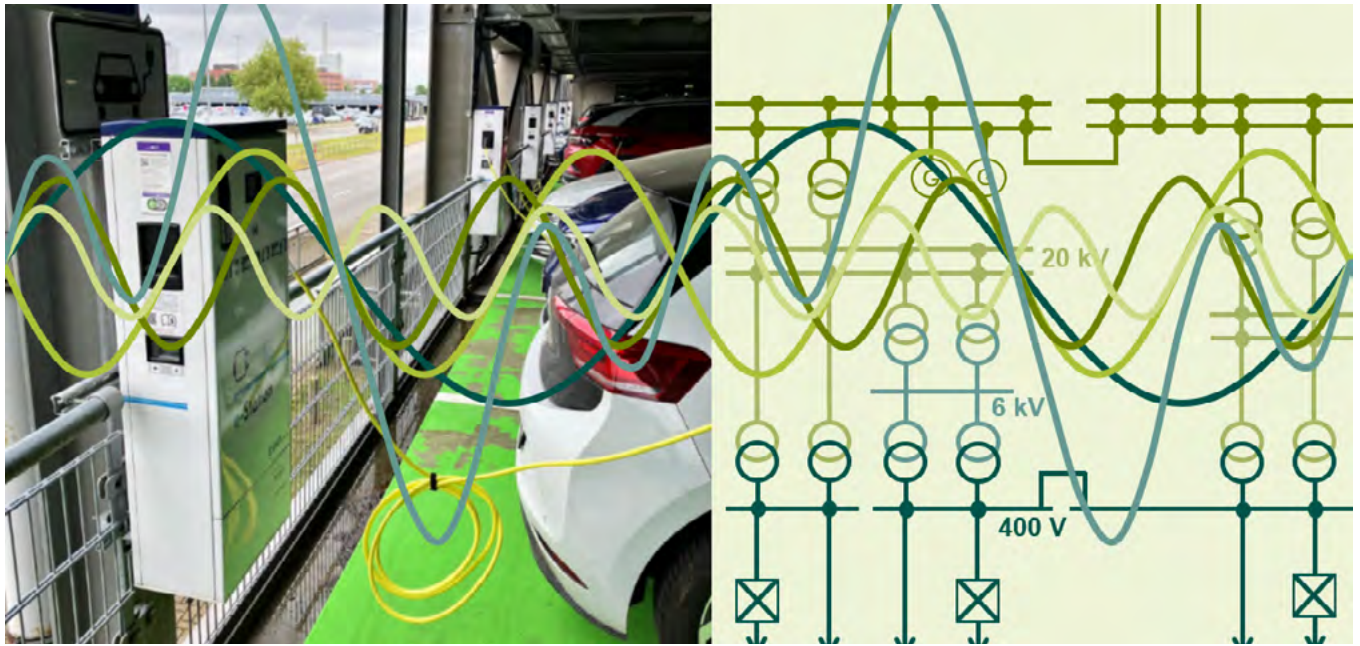


TÄTIGKEITEN AM ELENIA

- Mitarbeit im Schwerpunkt Aktives Verteilnetz
- Bearbeitung von Forschungsprojekten im Bereich Spannungsqualität und Dienstleistungsprojekten im Bereich von Bahnprojekten mit Batterieelektrischen Zügen und ihrer Ladeinfrastruktur

JETZT TÄTIG BEI

- TenneT TSO GmbH



Julia Gartner

Produktionsverträgliche Integration von Elektrofahrzeugen in das Industrienetz bezüglich Oberschwingungen

Für das Gelingen der Mobilitätswende als Teil der Verkehrswende spielen Elektrofahrzeuge zur Reduktion der CO₂-Emissionen eine wesentliche Rolle. Mit Zunahme von Elektrofahrzeugen steigt der Bedarf nach Ladeinfrastruktur, deren Aufbau sich aufgrund von langen Stand- und somit Ladezeiten beim Arbeitgeber anbietet. Das Laden von Elektrofahrzeugen erzeugt Oberschwingungen. Dies stellt insbesondere Industrienetze, in denen punktuell eine hohe Dichte von Elektrofahrzeugen, wie z. B. auf Mitarbeiterparkplätzen vorzufinden ist, vor große Herausforderungen in Bezug auf die steigende Oberschwingungsbelastung.

Die vorliegende Arbeit thematisiert die Auswirkung vom Wechselstromladen von Elektrofahrzeugen im Industrienetz und gibt Handlungsempfehlungen zur produktionsverträglichen Netzintegration. Die Untersuchungen erfolgen simulativ mithilfe eines Worst-Case-Szenarios sowie mit Messungen. Dabei werden vorrangig Spannungsharmonische als Auswirkungen auf das Industrienetz betrachtet.

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass die Integration von Elektrofahrzeugen negative Auswirkungen auf Ordnungen hat, die typischerweise aufgrund der vorhandenen Topologie bereits zuvor im Indust-

rienetz ohne Elektrofahrzeuge erhöht sind. Außerdem sind Verstärkungen im höheren Ordnungsbereich in Abhängigkeit des verwendeten Elektrofahrzeugmodells zu finden. In den Messungen auf Mitarbeiterparkplätzen, bei denen Elektrofahrzeuge die Hauptlast bilden, ist ebenfalls eine Erhöhung der typischen Spannungsharmonischen im Industrienetz festzustellen. Jedoch fließt der Anteil der Produktion aufgrund der lokalen Gegebenheiten nicht mit ein. Daher wird zur Abschätzung der Auswirkungen auf die Produktion der Winkel-Ansatz verwendet. Hierbei wird die Lage des Winkels einer Oberschwingung mit der aus dem Industrienetz verglichen. Dabei bildet die Grundschiwingung U₁ den Bezugszeiger. Der Fokus liegt auf der 5. Ordnung, weil vorangegangene Messungen im Industrienetz eine Erhöhung dieser Ordnung bereits ohne Elektrofahrzeuge zeigen. Mithilfe des Winkel-Ansatzes kann für die 5. Spannungsharmonische eine leichte bis mittlere Verstärkung hergeleitet werden.

Der Winkel-Ansatz dient gleichzeitig als Grundlage für die Handlungsempfehlung. Durch die Messungen wird gezeigt, dass ein Parkplatz mit Elektrofahrzeugen einen charakteristischen Verlauf der Lage des Winkels der 5. Ordnung hat. Diese Kennt-

nis ermöglicht es, einen Anschlusspunkt im Industrienetz zu nutzen, in dem der Winkel der bereits erhöhten 5. Ordnung im besten Fall im gegenüberliegenden Quadranten liegt und somit zu einer Verringerung der Oberschwingung führt. Auf diese Weise kann durch eine vorausschauende Planung produktionsverträgliches Laden sichergestellt werden.

Julia Gartner

AM ELENIA IN DER ZEIT

2018–2024

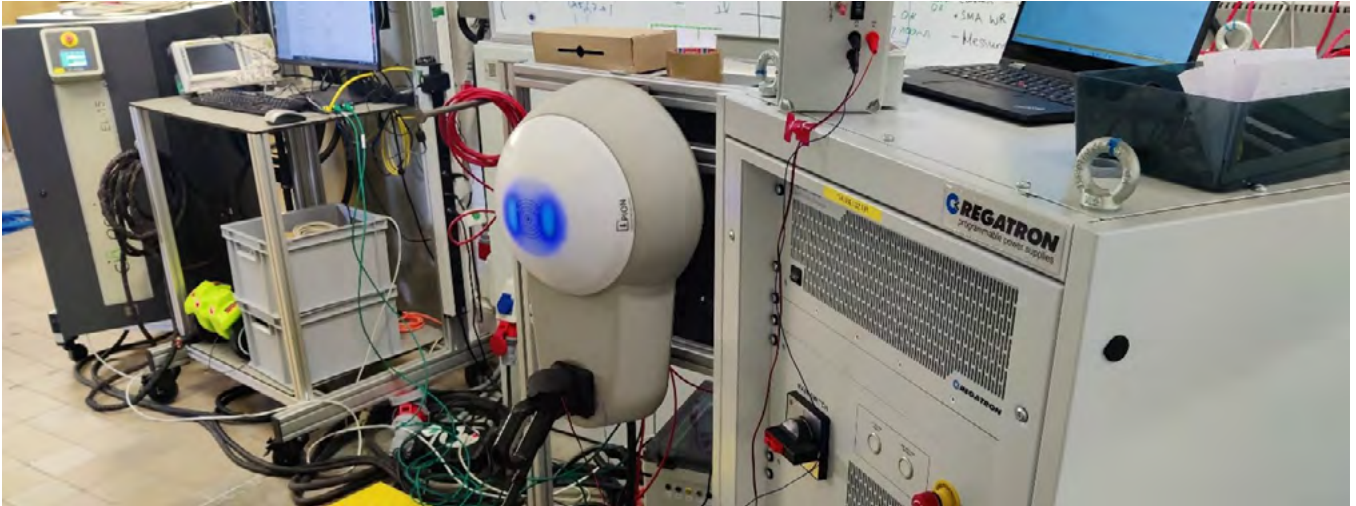
TÄTIGKEITEN AM ELENIA

- Externe Doktorandin
- Mitarbeit in der Arbeitsgruppe Energiesysteme und im Schwerpunkt Elektromobilität in der Forschergruppe Laden von Elektrofahrzeugen
- Betreuung des Praktikums Analyse, Simulation und Planung von Netzen

JETZT TÄTIG BEI

- Volkswagen AG als Elektroplanerin





Nils Müller

Technisch-ökonomischer Vergleich der Reaktionsmöglichkeiten eines Verteilungsnetzbetreibers auf Elektromobilitätshotspots

Die Energiewende stellt eine zentrale Herausforderung und zugleich eine große Chance für die Transformation des Energiesystems in Deutschland, Europa und der Welt dar. Sie verfolgt im Stromsektor das Ziel, fossile Energieträger durch erneuerbare Energien zu ersetzen und dadurch den CO₂-Ausstoß signifikant zu senken. Über die Sektorenkopplung wird diese Zielerfüllung durch zunehmende Elektrifizierung auch in die Sektoren Mobilität, Wärme und Industrieprozesse übertragen. In Deutschland, einem Land mit einer weltweit führenden Automobilindustrie, ist diese Transformation mit Blick auf die Elektromobilität besonders relevant. 2023 war Deutschland mit über 3,6 Millionen produzierten Fahrzeugen eines der größten Produktionsländer der Automobilbranche. Diese Dominanz unterstreicht die Notwendigkeit, innovative Lösungen für den Verkehrs- und Energiesektor zu entwickeln, um den steigenden Anforderungen an Klimaschutz und Energieeffizienz bei gleichbleibender Versorgungssicherheit gerecht zu werden.

Die Dissertation widmet sich der Analyse und Entwicklung von Lösungen, die es Verteilungsnetzbetreibern ermöglichen die Herausforderungen der zunehmenden Elektrifizierung der Mobilität effizient zu bewältigen. Der Schwerpunkt liegt auf Elektromobilitätshotspots, die durch eine hohe Konzentration von Elektrofahrzeugen und Ladeinfrastruktur gekennzeichnet sind.

Solche Hotspots können eine erhebliche Belastung für die bestehenden Verteilungsnetze darstellen, erfordern aber gleichzeitig nachhaltige und wirtschaftlich sinnvolle Lösungen, um die Energiewende erfolgreich voranzutreiben.

Es werden systematisch technische, ökonomische und regulatorische Maßnahmen untersucht, die von Verteilungsnetzbetreibern ergriffen werden können, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten und gleichzeitig die Kosten für den Netzausbau zu minimieren. Dabei werden sowohl theoretische Ansätze als auch praxisnahe Lösungen behandelt. Zu den zentralen Methoden gehören die Simulation geregelter Ladevorgänge, Feldtests zur Analyse von Anreizmechanismen sowie die Entwicklung eines Prototyps für eine universelle Steuerung von Ladevorgängen. Diese Ansätze werden auf ihre technische Machbarkeit und ökonomische Effizienz hin analysiert und bewertet.

In der Simulation konnte, abhängig vom Netzgebiet, eine Verdreifachung der Aufnahmekapazität für Elektrofahrzeuge bei nur geringer Einschränkung des Kundenkomforts erreicht werden. Im Rahmen des Feldtests konnte im Testzeitraum durch die Implementierung von flexiblen Netzentgelten eine Reduktion der maximalen Netzlast um 30 % erreicht werden. Aus der ökonomischen Perspektive zeigt sich ein erheblicher gesamtwirtschaftlicher Vorteil einer

intelligenten Steuerung gegenüber des klassischen Netzausbaus für verschiedene Grenzfälle der Durchdringung mit Ladeinfrastruktur. Im Verlauf der Promotion ist außerdem die Erfindung eines smarten Ladekabels zur universellen Steuerung von Ladevorgängen entstanden und wurde als Patent angemeldet.

Nils Müller

AM ELENIA IN DER ZEIT

2020–2025

TÄTIGKEITEN AM ELENIA

- Externer Doktorand
- Betreuung der Forschungskooperation als Referent der Geschäftsführung bei der Braunschweiger Netz GmbH bis 10/2023
- Koordinierung der Forschungsprojekte U-Quality, Flexess, NetFlexum, Verteilnetz 2030+, Metropolis, PIC-NIC, ENABLE seitens der Braunschweiger Netz GmbH
- Mitarbeit im Schwerpunkt Netzintegration von Elektromobilität

JETZT TÄTIG BEI

- PowerCo SE – Aufbau Riskmanagement Energy





Robin Grab

Dezentrale Blindleistungsquellen für die Spannungshaltung in Hoch- und Höchstspannungsnetzen

Im Zuge der Umstellung des deutschen Energieversorgungssystems müssen Systemdienstleistungen stärker als bislang von dezentralen Erzeugungsanlagen bereitgestellt werden. Davon ist auch die statische Spannungshaltung betroffen. In dieser Arbeit werden verschiedene Eigenschaften dezentraler Blindleistungsquellen untersucht, die für ihre Eignung für die Spannungshaltung in Hoch- und Höchstspannungsnetzen von Bedeutung sind. Dabei werden insbesondere die Eigenschaften selbstgeführter Stromrichter als zentrale Technologie für die künftige Wirk- und Blindleistungsbereitstellung in den Fokus genommen.

Zunächst werden neue Bewertungskriterien für die Analyse des Blindleistungspotenzials von Erneuerbare-Energien-Anlagen für die Blindleistungsbereitstellung in den höheren Spannungsebenen vorgestellt und angewendet. Dabei werden auch Praxiserfahrungen wiedergegeben und Messergebnisse aus realen Anlagen analysiert. Im Folgenden werden die elektrischen Verluste

von Stromrichtern bei der Blindleistungsabgabe vermessen, analysiert und mittels parametrierbarer Modelle abgebildet. Ebenso wird die Anwendung der Modelle dargelegt und ihre Genauigkeit bewertet. In einem weiteren Abschnitt werden die dynamischen Eigenschaften von Blindleistungsquellen bei Sollwertänderungen untersucht. Dabei werden auch die Folgen von schnellen Blindleistungsänderungen für Anlagen und Netzstabilität betrachtet.

Die Erkenntnisse dieser Arbeit können dazu beitragen, geeignete Richtlinien und Gesetze für die Blindleistungsbereitstellung der Zukunft zu erarbeiten, um eine kostengünstige und sichere Aufrechterhaltung der statischen Spannungshaltung auch zukünftig und unter den veränderten Randbedingungen der Energiewende zu gewährleisten.

Robin Grab

AM ELENIA IN DER ZEIT

2020–2025

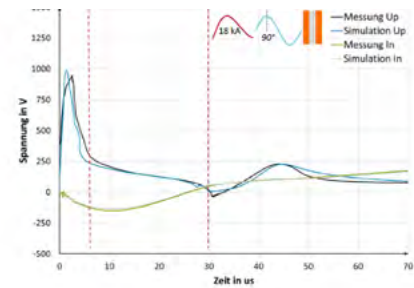
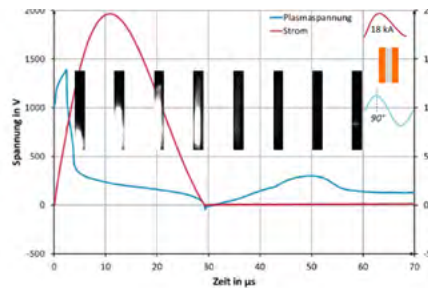
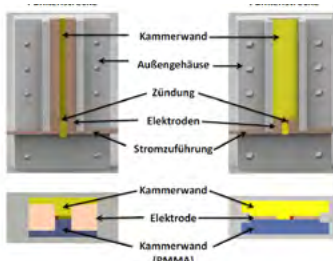
TÄTIGKEITEN AM ELENIA

▪ externer Doktorand

JETZT TÄTIG BEI

▪ Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE als Leiter des Teams „Netzverhalten von dezentralen Generatoren“





Tobias Kopp

Untersuchungen der Wiederkehrspannung von Funkenstrecken unter Stoßstrom- und Netzbelastung

Für den Schutz von Personen und elektrischen Geräten werden in der Niederspannungstechnik Überspannungsableiter auf Basis von Funkenstrecken eingesetzt. Zur gezielten Weiterentwicklung dieser Funkenstrecken ist es notwendig, die genaue Wechselwirkung der Funkenstrecken mit dem elektrischen Versorgungsnetz zu kennen. Daher habe ich mich in meiner Arbeit mit der Untersuchung dieser Wechselwirkungen insbesondere mit der Wiederkehrspannung nach dem Ableiten eines Stoßstromes beschäftigt.

Als Grundlage dienten Ergebnisse aus Untersuchungen des elektrischen Verhaltens des Prüfkreises. Mit Hilfe dieser Ergebnisse sind die Wechselwirkung zwischen Stoßstrom- und Transformatorkreis diskutiert worden. Anschließend erfolgt eine phasenweise Beschreibung des elektrischen Verhaltens der Funkenstrecke am Niederspannungsnetz. Für unterschiedliche Eingangsgrößen sind die Abhängigkeiten des elektrischen Verhaltens der Funkenstrecke dargestellt und diskutiert worden. Diese

Teilergebnisse bildeten die Grundlage für das Ableiten eines elektrischen Funkenstreckenmodells für die spätere Implementierung in ein Netzwerkmodell.

Auch untersuchte ich das Wiederverfestigungsverhalten von Funkenstrecken. Einerseits konnte hieraus notwendige Parameter für das Funkenstreckenmodell abgeleitet werden, andererseits gaben die Untersuchungen direkt Hinweise auf das elektrische Verhalten der Funkenstrecke am Niederspannungsnetz. Dies ermöglicht es, in späteren Arbeiten die hier vorgestellte Methodik weiterzuentwickeln und zur Analyse von Plasmaeigenschaften zu verwenden.

Mit den Ergebnissen des elektrischen Verhaltens des Prüfkreises, der Funkenstrecke und mit dem abgeleiteten Funkenstreckenmodell habe ich ein Simulationsmodell entwickelt, mit dem Sensitivitäts-Analysen für unterschiedliche Eingangsgrößen durchgeführt worden sind. Über so ermittelte Kennlinienfelder beschrieb ich das elektrische Verhalten des Gesamtsystems.

Tobias Kopp

AM ELENIA IN DER ZEIT

2013 – 2025

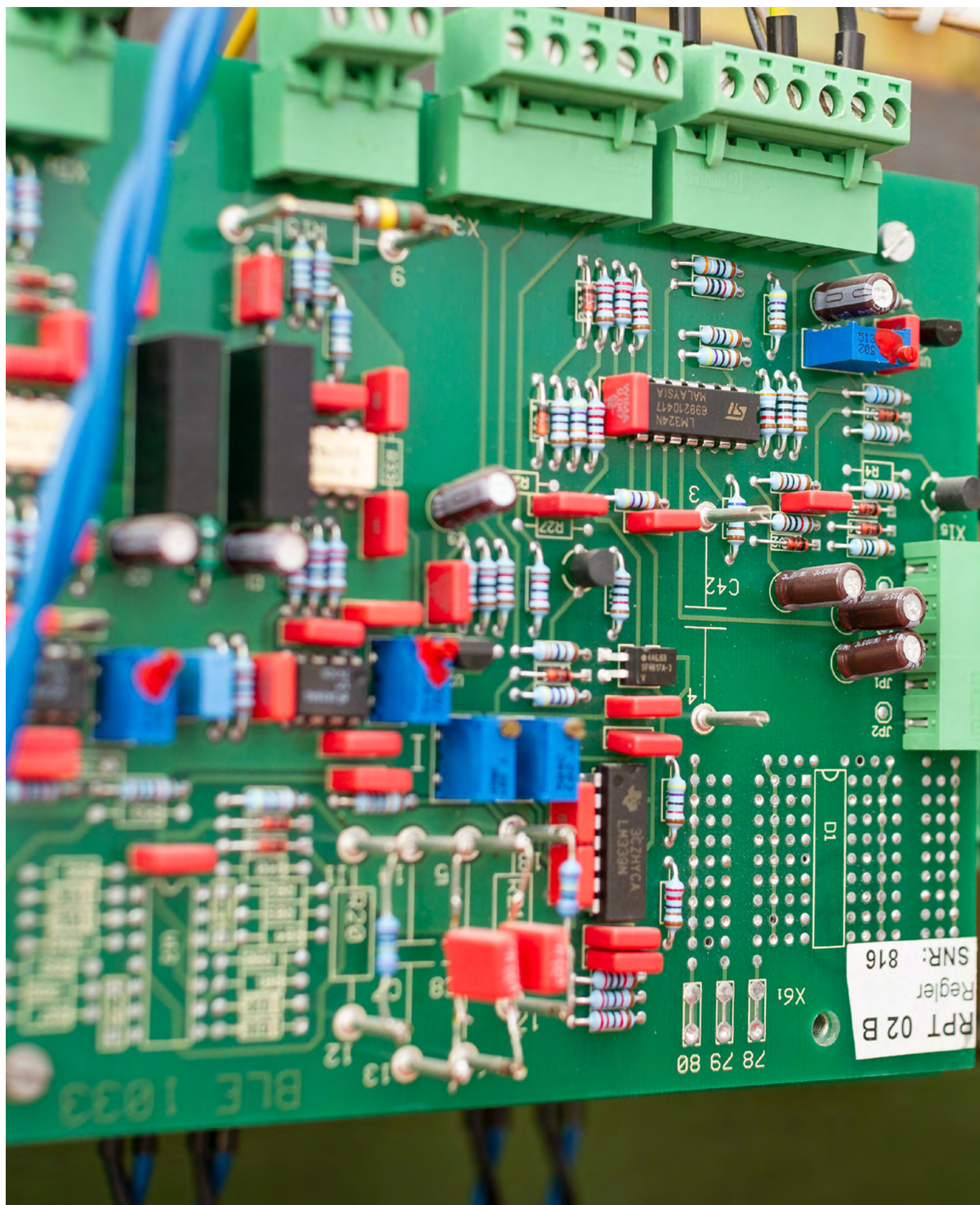
TÄTIGKEITEN AM ELENIA

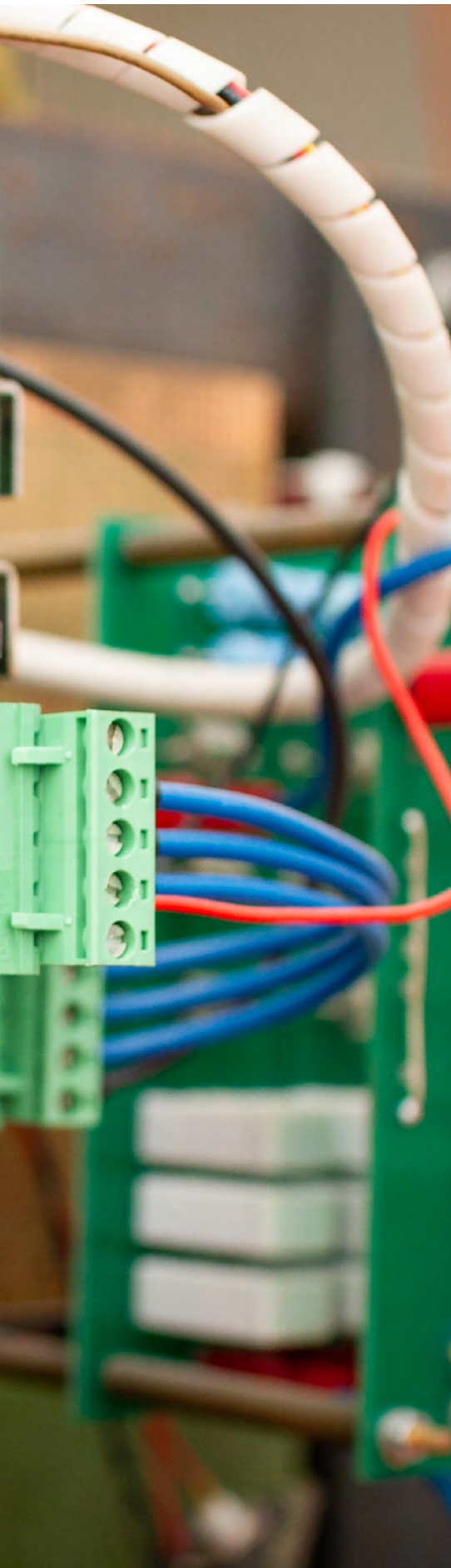
- Administrativ: AG-Leiter, Schwerpunktleiter, PMO, Antragsentwicklung, Koordination Forschungsprojekte
- Forschung: optische Plasmaanalyse, Niederspannungsschaltgeräte, Überspannungsableiter, Vakuumschalter, Elektrifizierung der Luftfahrt, Hochleistungsprüffeld
- Lehre: Technologien der Übertragungsnetze, Plasmatechnik

JETZT TÄTIG BEI

- enercity, Projektleiter für Umspannwerke





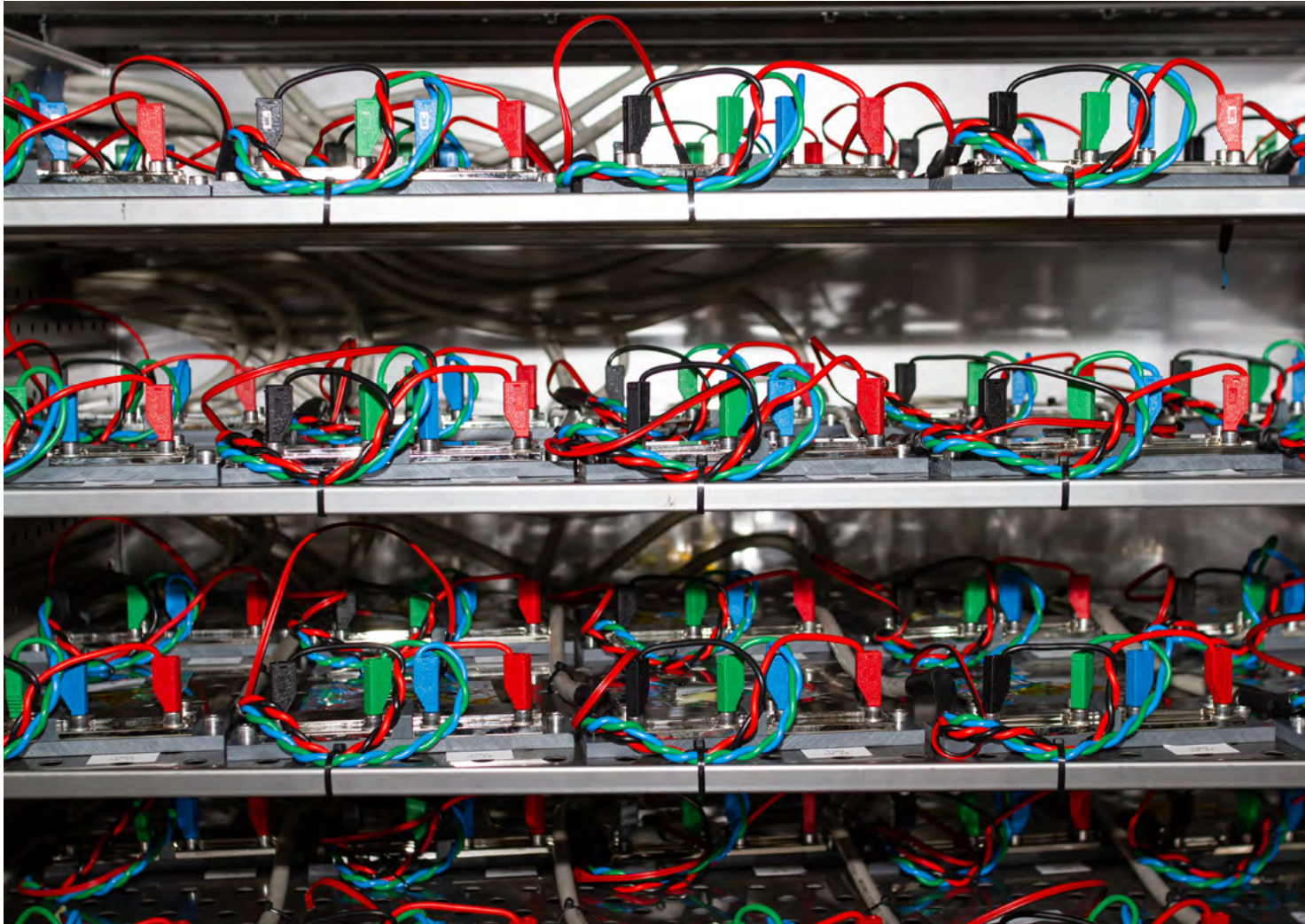


Labore und Werkstätten

Batterietest-Labore	95
Blitzschutzlabor	99
DC-Demonstrationsnetzlabor	103
Hochleistungsgleichstromprüffeld	107
Hochspannungshalle	111
Isolierstofflabor	115
Kooperationslabor	119
Leistungsprüffeld	123
elenia-Ladepark	127
Energiemanagementlabor	131
Netzdynamiklabor	135
Mechanische & Elektrotechnische Werkstatt	139
IT-Abteilung des elenia	145



Batterietest-Labore



KONTAKT

Oliver Landrath, M.Sc.

✉ o.landrath@tu-braunschweig.de

☎ +49 531 391 7742

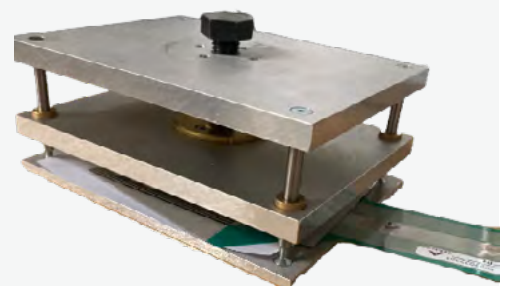
INTERNET

www.tu-braunschweig.de/elena/forschung/batterieprueftechnik



AUFGABEN UND LEISTUNGEN

- Zellfertigung von 3-Elektroden-Zellen
- Formierung von Batteriezellen
- Elektrische Charakterisierung
- Alterungsuntersuchungen
- Modellierung und Simulation
- Post-Mortem-Analysen mittels Digitalmikroskopie



Batterietest-Labore am elenia

Test- und Prüfmöglichkeiten auf Zell-, Modul- und Systemebene

Die fortschreitende Entwicklung der Batterietechnologie ist maßgeblich durch den weltweit steigenden Bedarf an elektrischen Energiespeichern für mobile sowie stationäre Anwendungen motiviert. Im Zuge dieser Entwicklung rückt die Batterietechnologie zunehmend in den Fokus aktueller Forschungsvorhaben. Lithium-Ionen-Batterien und Next-Generation-Batterien nehmen dabei eine zentrale Rolle ein, da sie durch ihre hohe Energie- und Leistungsdichte, ihren hohen Wirkungsgrad sowie ihre Langzeitstabilität eine Schlüsseltechnologie für zukünftige Energiespeicherlösungen darstellen. Trotz dieser Vorteile besteht weiterhin ein Forschungspotenzial, um den Anforderungen in Bezug auf Sicherheit, Lebensdauer, Ladegeschwindigkeit und Ressourceneffizienz gerecht zu werden.

Das elenia Institut für Hochspannungstechnik und Energiesysteme verfügt über eine umfassende Testinfrastruktur an mehreren Standorten, welche auf unterschiedliche Forschungsschwerpunkte ausgerichtet ist:

Batterie-Testlabor (BatLab) – elenia, Kellergeschoss

Im BatLab werden elektrochemische Untersuchungen an speziellen Drei-Elektroden-Messzellen durchgeführt. Diese Zellen verfügen neben Anode und Kathode über eine zusätzliche Lithium-Referenzelektrode, wodurch eine getrennte elektrochemische Charakterisierung der einzelnen Elektroden möglich ist. Die Herstellung erfolgt unter inerten Bedingungen in einer Glovebox mit Argonatmosphäre. Derzeitige Forschungsarbeiten konzentrieren sich auf die modellbasierte Auslegung von Schnellladestrategien für unterschiedliche Zellmaterialsysteme.

Production LabFactory Braunschweig (PLB) und zugehörige Testhalle (ehemals InES)

In diesen Laboren werden primär großformatige Lithium-Ionen-Zellen ohne Referenzelektrode untersucht. Die getesteten Zellen stammen sowohl aus der Pilotlinie der BatteryLabFactory and more (BLB+) als auch von industriellen Kooperationspart-

nern oder kommerziellen Anbietern. Die aktuellen Forschungsschwerpunkte umfassen unter anderem den Einfluss der Formierung auf die Zellperformance, modellbasierte Schnellformierungsstrategien, die elektrochemische Charakterisierung und Diagnostik, Temperaturmodellierung sowie Anwendungen der Methoden auf neuartige Zellchemien, wie zum Beispiel Natrium-Ionen- oder Festkörperbatterien.

Physikalisch-Technische-Bundesanstalt Braunschweig (PTB)

An der PTB liegt der Fokus auf der Untersuchung der Modul- und Systemebene. Die Forschungsaktivitäten befassen sich mit der Diagnostik von Batteriemodulen, insbesondere im Hinblick auf deren Eignung für Second-Life-Anwendungen. Zusätzlich werden elektrische und thermische Sicherheitstests auf Zell- und Modulebene durchgeführt, um das Verhalten unter Extrembedingungen zu analysieren.

Testinfrastruktur und Sicherheitsausstattung

Zur Durchführung der verschiedenen Untersuchungen stehen in den Laboren Batterietester unterschiedlicher Hersteller, wie zum Beispiel Ametek, BaSyTeC, Digatron, EL-Cell GmbH, Gamry Instruments und Biologic, zur Verfügung. Die Einhaltung konstanter Umgebungsbedingungen wird durch den Einsatz von Temperaturprüfkammern gewährleistet. Darüber hinaus sind alle Teststände mit umfassenden Sicherheitseinrichtungen ausgestattet. Diese umfassen unter anderem F90-Lagerschränke, automatische Schranklöschanlagen (Fa. Wagner), Abluftsysteme sowie mehrstufige Havariefiltersysteme (Fa. Stöbich technology), sodass die Labore Untersuchungen bis einschließlich EUCAR Hazard Level 5 ermöglichen.

Methoden zur elektrochemischen Charakterisierung

Zur detaillierten Analyse der elektrischen Eigenschaften von Lithium-Ionen-Zellen werden definierte Strom- und Spannungsprofile verwendet. Kapazitätstests bei kon-

stantem Strom liefern Informationen über die erreichbare Kapazität der Zellen. Ergänzt werden diese durch Stromraten-, Innenwiderstands- und Impedanzmessungen zur Analyse der Zelleistung.

Zur Untersuchung der Alterungseffekte werden zyklische Belastungstests durchgeführt, welche wiederholte Lade-, Entlade- und Ruhephasen beinhalten. Diese Tests erfassen den Verlust von Kapazität und den Anstieg des Innenwiderstandes über die Lebensdauer. Hierdurch lassen sich Aussagen zur zyklischen Alterung unterschiedlicher Zellchemien und Betriebsstrategien ableiten.

Seit 2021 werden diese Untersuchungen durch Post-Mortem-Analysen ergänzt. Hierbei werden Zellen unter Schutzgas geöffnet und mikroskopisch untersucht, um strukturelle und chemische Veränderungen, insbesondere das anodenseitige Lithium-Plating, infolge der Alterung zu identifizieren. Methoden wie die differentielle Spannungsanalyse (DVA) und die elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS) dienen hierbei der Ursachenermittlung für beobachtete Degradationsprozesse.

Neben der zyklischen wird auch die kalendarische Alterung untersucht. Hierfür werden Zellen über längere Zeiträume in Sicherheitsschränken unter definierten Bedingungen gelagert. Die Veränderungen der elektrischen Eigenschaften sowie die Selbstentladung werden erfasst und ausgewertet, um den Einfluss der kalendarischen Alterung quantifizieren zu können.

Modellbildung und Simulation

Ergänzend zu den klassischen Testverfahren werden spezielle Innenwiderstandstests durchgeführt, um Parameter für elektrische Ersatzschaltbildmodelle zu bestimmen. Diese Modelle ermöglichen eine simulationsbasierte Beschreibung des elektrischen Verhaltens von Batteriezellen. Weiterhin werden elektro-thermische Modelle entwickelt, um das Verhalten der Zellen unter verschiedenen Betriebsbedingungen abzubilden.



GLOVEBOX DER FA. M. BRAUN

Bereitstellung eines Arbeitsplatzes unter Argon-Schutzatmosphäre

- 0,8 m³ Boxvolumen
- Schleusenofer bis 120 °C



KEYENCE DIGITALMIKROSKOP VHX7000

Optische Untersuchungen von Elektrodenmaterialien

- 20 × – 2500 × Vergrößerung
- 3D-Messsoftware



3-ELEKTRODEN-ZELLTESTER DER FA. EL-CELL

- Testsystem für
Drei-Elektroden-Messzellen
- 40 Kanäle ± 0,1 A, 0–6 V, EIS
- 46 PAT-Zellen
 - Darunter 4 PAT-Cell Force und 2 PAT-Cell Press



TEMPERATURPRÜFSCHRÄNKE

Bereitstellung einer definierten und konstanten Testumgebung

- 6 × KB 420/S*, KB 700/S*
 - Prüfvolumen 6 × 420 l und 2 × 700 l
 - -5 °C bis 100 °C
- MK 240/S*
 - Prüfvolumen 240 l
 - -40 °C bis 180 °C
- 2 × BF 115
 - Prüfvolumen 112 l
 - 30 °C – 100 °C

TEMPERATURPRÜFSCHRÄNKE DER FA. WEISS UND VÖTSCH

- Prüfvolumen 600 l und 34 l
 - -40 °C bis 180 °C und -20 °C bis 80 °C
 - S* inkl. Schranklöschung, Abluft und Havariefilter



GAMRY REFERENCE 3000 UND 5000

Optische Untersuchungen von Elektrodenmaterialien

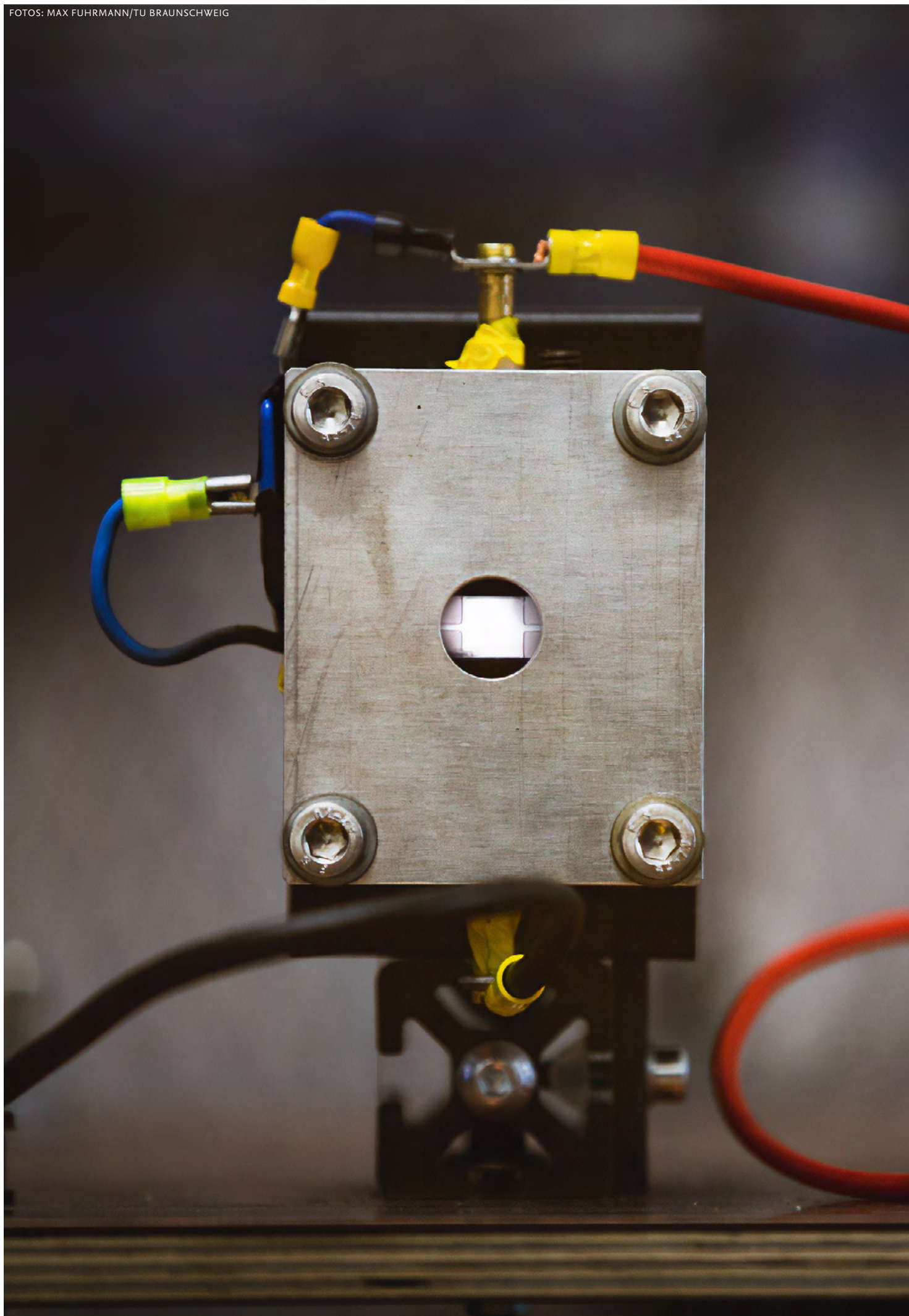
- Impedanzmessungen
- Messbereich 10 µHz bis 1 MHz
- Maximale Anregung 3 A
- Maximale Zellspannung 15 V



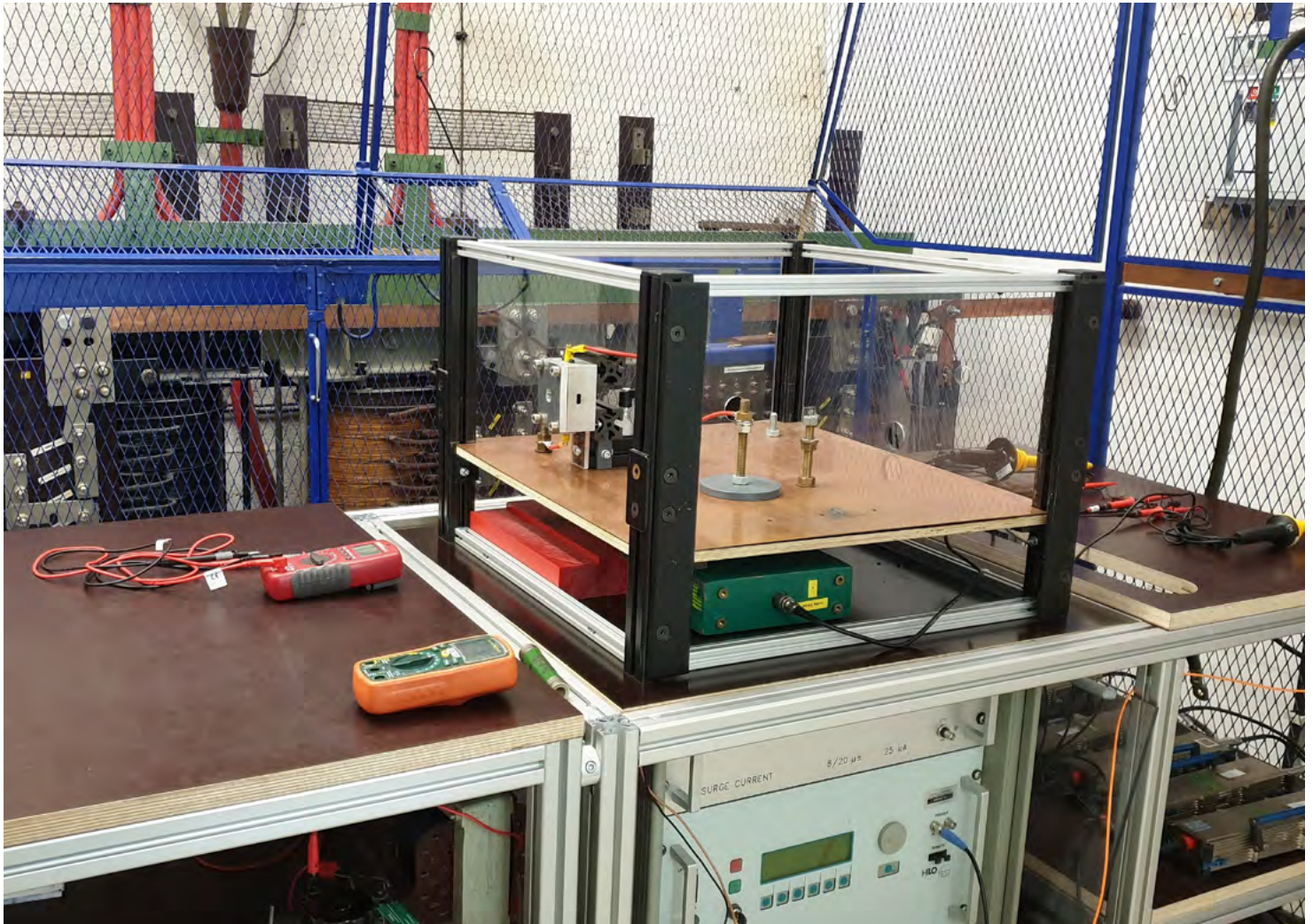
ZELLTESTER DER FA. BASYTEC

Prüfstand für Zelltests

- 48 Kanäle ± 50 A, 0–6 V, parallelschaltbar
- 48 Kanäle ± 25 A, 0–6 V, parallelschaltbar
- 52 Kanäle ± 20 A, 0–6 V, parallelschaltbar
- 90 Kanäle ± 5 A, 0–6 V, parallelschaltbar
- 3 Kanäle ± 30 A, 0–150 V, parallelschaltbar



Blitzschutzlabor



KONTAKT

Dr.-Ing. Dirk Bösche

✉ d.boesche@tu-braunschweig.de

INTERNET

www.tu-braunschweig.de/elenia/forschung/blitzschutzlabor



AUFGABEN UND LEISTUNGEN

- Messungen am Niederspannungsnetz mit Spannungen zwischen 50 V bis 750 V
- Prospektive Kurzschlussströme bis zu 15 kA bei 250 VAC
- Untersuchung von Funkenstreckenableitern mit Stoßströmen bis zu 25 kA (8/20 μ s) oder 600 A (10/350 μ s)
- Verschiedene Netzsynchrisationswinkel, Triggerung des Stoßstromes auf 1° Genauigkeit
- Messung der transienten Plasmaeigenschaften (Druck, Temperatur und Leitfähigkeit)

Blitzschutzlabor

AC-Leistungsprüffeld mit hoher Kurzschlussleistung und Stoßströmen von bis zu 25 kA

Blitzstromableiter (Typ 1) werden als primärer Schutzmechanismus eingesetzt. Sie sollen den störungsfreien Betrieb von elektrischen und elektronischen Geräten beim Auftreten eines Überspannungsereignisses gewährleisten. Diese können infolge eines Blitzeinschlages oder Schalthandlungen im Netz entstehen. Blitzstromableiter basieren häufig auf der Funkenstreckentechnologie. Hier kommt es beim Überschreiten einer charakteristischen Spannung zur Bildung eines Plasmas zwischen zwei Elektroden. Dieses Plasma erzeugt einen kurzzeitigen Kurzschluss zur Erdungsanlage. Durch diesen niederimpedanten Potentialausgleich werden hohe Energien sicher abgeleitet. Aufgrund des Kurzschlusses zur Erdungsanlage entstehen Wechselwirkungen mit dem angeschlossenen Versorgungsnetz, sodass ein netzgetriebener Kurzschlussstrom über die Plasmastrecke fließen kann (Netzfolgestrom). Dieser Netzfolgestrom soll nach dem erfolgreichen Ableitvorgang möglichst schnell verlöschen, damit die vorgelagerten Sicherungen oder Leistungsschalter nicht auslösen.

Für die Untersuchungen von Blitzstromableitern stehen am elenia unterschiedliche Stoßspannungs- und Stoßstromgeneratoren zur Verfügung. Besonders hervorzuheben ist das „Blitzschutzlabor“. In diesem

kann zusätzlich zu einem Stoßstrom eine Niederspannungseinspeisung parallelgeschaltet werden. Das Niederspannungsnetz ist über drei Leistungstransformatoren mit dem Mittelspannungsnetz auf der 6 kV-Ebene verbunden. Hierdurch kann sowohl der Stoßstrom, als auch der Netzfolgestrom untersucht werden.

Zusätzlich wurde ein Prüfkreis zur Untersuchung der Wiederverfestigung aufgebaut. Dieser Prüfkreis basiert auf einer Kondensator-basierten Stromquelle, die über einen hochimpedanten Widerstand mit dem Blitzstromableiter verbunden ist. Auf diese Weise kann unmittelbar nach dem Stromnulldurchgang in der Funkenstrecke ein Messstrom im Bereich von 100 mA durch die noch erhitzte Restplasmastrecke fließen. Dies ermöglicht die Analyse der Plasmaeigenschaften im speziellen nach der Hochstromphase.

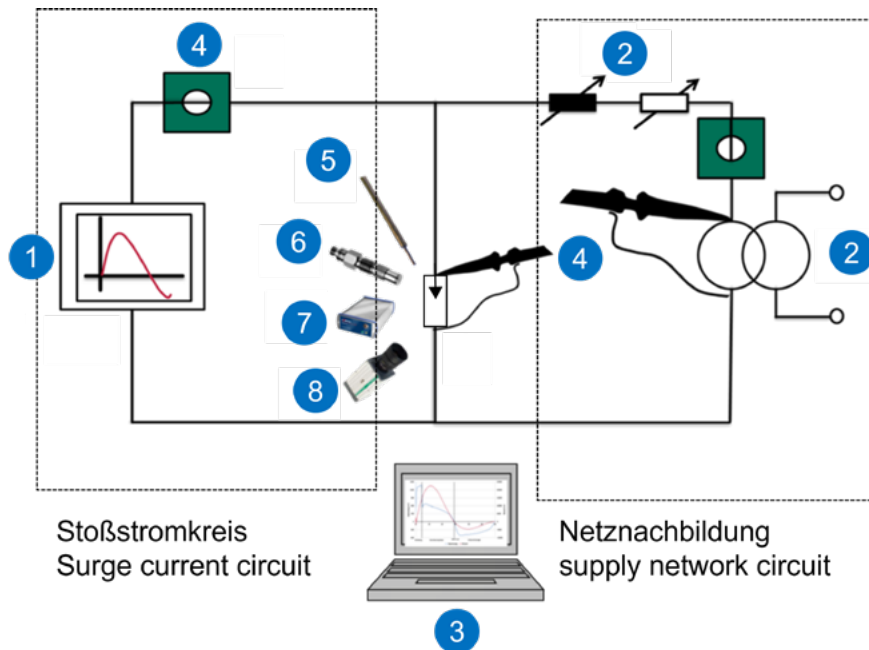
Der Stoßstrom wird mit Hilfe eines Stoßstromgenerators erzeugt (1). Es können 8/20 μ s Impulse mit bis zu 25 kA aber auch 10/350 μ s Impulse mit bis zu 600 A erzeugt werden. Die Netzeinspeisung erfolgt über bis zu drei parallel geschaltete 130 kVA-Transformatoren (2). Zur Einstellung des ohmsch-induktiven Verhältnisses der Netznachbildung stehen Widerstands- sowie

Induktivitätsbänke zur Verfügung (2). Bei diesen sehr schnellen Plasmavorgängen ist eine stabile und zeitdiskrete Messtechnik notwendig. Hierfür stehen Messsonden mit einer Samplerate von 100 MS/s zur Verfügung. Die Messsonden sind über Lichtwellenleiter potentialgetrennt an das Messsystem angeschlossen (3). Weiterhin stehen zusätzliche Sensoren wie Pearsons-sonde, Hochspannungstastköpfe (4), Potentialsonden (5), Drucksensoren (6), Spektrometer (7) und eine High-Speed-Kamera (8) zur Verfügung.

Das aktuelle Ziel der Forschung ist es, den Übergang vom hochleitfähigen Plasma hin zum isolierenden Zustand nach der Stoßstrombelastung zu untersuchen. Mithilfe der beschriebenen Messtechnik finden diese experimentellen Untersuchungen statt.

Für diese Untersuchungen sind Präzisionshalterungen im Labor vorhanden, welche die optische Ausrichtung der Kamera auf die Brennkammer der Modell-Funkenstrecken erleichtern. Die Forschung ermöglicht es die Funkenstreckenableiter zu modellieren und damit eine zielgerichtete Entwicklung des Überspannungsschutzes zu gewährleisten.

Fotos: Max Fuhrmann/TU Braunschweig



ÜBERSICHT DES VERSUCHSFELDES ZUR BESTIMMUNG DER PLASMAVORGÄNGE

- 1) Stoßstromgenerator EMC 2004
- 2) Niederspannungsnetz bis 750VAC mit einstellbarer Netzimpedanz
- 3) Anbindung Messsystem an PC
- 4) Spannungs- und Strommessung
- 5) Leitfähigkeit über Potentialsonden
- 6) Druckmessung
- 7) Spektroskopie
- 8) Hochgeschwindigkeits-Kamera



HOCHGESCHWINDIGKEITS-KAMERA NOVA S6
VON PHOTRON

Hochgeschwindigkeitskamera zur Analyse der Plasmaverteilung mit Präzisionshalterung

- Auflösung bis zu 1024×1024 Pixel
- Schwarz-Weiß Aufnahmen
- Maximale Bildfrequenz von 800 kfps
- Minimale Belichtungszeit von 200 ns
- Externe Triggerung möglich



STOSSSTROMGENERATOR EMC 2004

Stoßstromgenerator zur Erzeugung von Blitzteilströmen

- Max. Ladespannung von 10 kV
- Max. Energie 1500 Ws
- Verschiedene Kurvenformen möglich
- Max. Stoßstrom von 25 kA
- Externe Ansteuerung möglich



DC-Demonstrationsnetzlabor



KONTAKT

Fabian Benedikt Witt, M. Sc.

✉ fabian-benedikt.witt@tu-braunschweig.de

☎ +49 531 391-7703

Patrick Vieth, M.Sc.

✉ p.vieth@tu-braunschweig.de

☎ +49 531 391-9725

INTERNET

www.tu-braunschweig.de/elenia/forschung

AUFGABEN UND LEISTUNGEN

- Untersuchung dynamischer Zustandsänderungen im Netz
- Entwicklung und Test von DC-Schutzsystemen
- Untersuchung der Schalteigenschaften kommerziell erhältlicher DC-Schaltgeräte
- Untersuchung von DC-Netztopologien
- Charakterisierung verschiedener Betriebs- und Fehlerszenarien im variablen Netzaufbau
- Entwicklung eines neuartigen DC-Schutzsystems



DC-Demonstrationsnetzlabor

Untersuchung spannungsebenen-übergreifender Gleichspannungsnetze mit variabler Quell- und Lastcharakteristik

Die voranschreitende Energiewende in Deutschland und technische Fortschritte im Bereich der modernen Leistungselektronik führen dazu, dass DC-Technologie kontinuierlich eine wachsende Bedeutung sowohl im industriellen Bereich als auch in der Energieübertragung und der Elektromobilität gewinnt. Und das aus gutem Grund: Die Energieübertragung und -verteilung bietet ein weites Spektrum an Anwendungsvorteilen wie beispielsweise Effizienzvorteile, Materialeinsparungen und die Möglichkeit der einfachen Integration erneuerbarer Energien und Speicher. Sie bringt auf der anderen Seite auch neue Herausforderungen und Fragestellungen mit sich. Diese gilt es zu beantworten, um eine sichere Nutzung zu gewährleisten. Das DC-Demonstrationsnetzlabor am elenia ermöglicht die Untersuchung einer großen Bandbreite von Netztopologien durch einen flexiblen, schnell anpassbaren Aufbau und ein großes Spektrum verschiedener Quell- und Lastcharakteristiken. Das Labor verfügt über zwei Spannungsebenen im Niederspannungsbereich (0–380V und 1 kV) und eine Mittelspannungsebene ($\pm 1,5$ kV DC).

Aufbau, Komponenten und Untersuchungsgegenstand

Das Demonstrationsnetzlabor bietet ein breites Prüfspektrum zur Untersuchung von DC-Netztopologien. Der geplante Gesamtaufbau inklusive der Leistungsdaten aller Spannungsebenen und die detaillierte Beschreibung der Laborkomponenten sind der nächsten Seite zu entnehmen. Derzeit wird im Demonstrationsnetzlabor an der allgemeinen Netzcharakterisierung und Modellbildung für DC-Netze gearbeitet. Ein möglichst großer Versuchsraum wird durch eine große Bandbreite variabler La-

stimpedanzen und aktiver Quell- und Lastkomponenten erreicht. Außerdem wird ein DC-Schutzsystem entwickelt und in verschiedenen Fehlerszenarien untersucht. Neben Strom und Spannung können auch die Zeitkonstante, Netztopologie und interne Regelung ausgewählter Quellen und Lasten angepasst werden. Ein weiterer Vorteil liegt in der einfachen Integrierbarkeit weiterer Betriebsmittel in den bestehenden Aufbau. Die durchgeführten Messungen werden durch modernste Messtechnik aufgezeichnet. Die Netzzustände bei dynamischen Laständerungen sowie Schaltvorgängen und die Reaktion des Schutzsystems sind somit präzise analysierbar.

Erweiterung des bestehenden Netzaufbaus

Das Labor verfügt über ein zentrales, modulares Schutzkonzept zur Identifizierung, Lokalisierung und Klassifizierung von Stromfehlern im DC-Netz. Das Konzept des Schutzsystems beruht auf der permanenten Überwachung des Systemzustandes mittels Stromsensoren, welche an verschiedenen Stellen im Netz installiert sind. Die Daten der Sensoren werden in einer zentralen Schutzeinheit zusammengeführt bevor dort über einen FPGA-Controller weitere abgeleitete Größen aus den Messwerten berechnet werden. Die gemessenen und berechneten Größen dienen der Entscheidungsfindung des Schutzalgorithmus. Abhängig von der dynamischen Zustandsänderung des Demonstrationsnetzes, werden unterschiedliche Einschätzungen des aktuellen Status durch die Schutzeinheit vorgenommen und ggf. Handlungsanweisungen in Form von Schaltbefehlen an die Schaltgeräte weitergeleitet, um möglichst selektiv eine Fehlerklärung durchzuführen.



LVDC-SCHALTSCHRANK MIT LVDC-AFE & DC-SAMMELSCHIENE

Kopplung und Absicherung der Niederspannungskomponenten

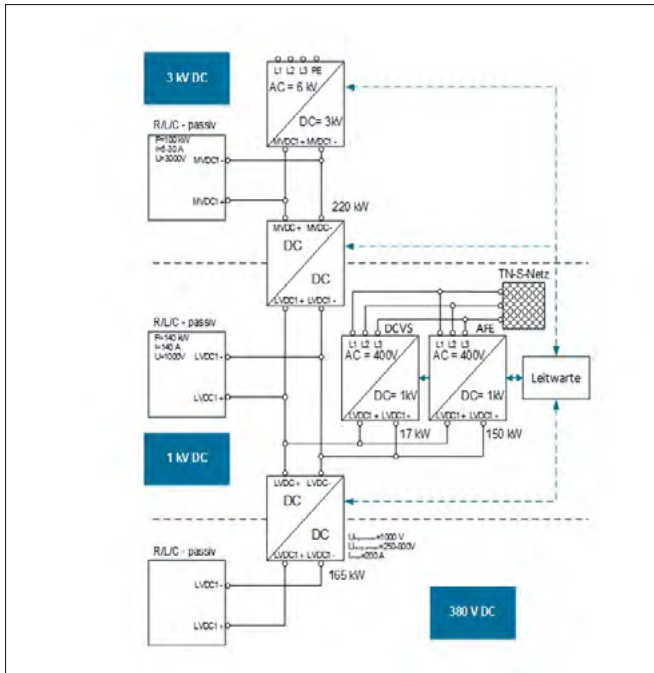
- Anbindung leistungsschwacher Verbraucher und eines Stecksystems zur Topologiebildung über Strangschutzschalter
- DC-Leistungsschalter sichern Gleichspannungswandler zur unterlagerten, variablen LVDC-Spannungsebene ab
- LVDC-AFE im Rückspeisebetrieb als Senke nutzbar
- Integration eines Bremswiderstandes



LVDC-SCHALTSCHRÄNKE MIT PASSIVEN LASTEN & GESTEUERTEN SPANNUNGSQUELLEN

Einfacher Aufbau variabler Netztopologien über ein PV-Stecksystem

- Nachbildung einer Vielzahl von DC-Bordnetz-, Industrie- und Verteilnetzstrukturen
- Netzcharakterisierung und Modellbildung von DC-Netzen mithilfe statistischer Versuchsplanung
- Entwicklung, Untersuchung und Optimierung von neuartigen DC-Schutzsystemen mit Fokus auf die Schaltgerätekoordination bei Stromfehlern



GESAMTNETZÜBERSICHT ALS BLOCKSCHALTBIKD

Struktur und Kernfunktionen

- Drei Netzebenen (3 kV, 1 kV & <1kV variabel)
- MVDC-seitiger Anschluss des Prüffeldes direkt an das 6 kV-AC Mittelspannungsnetz der TU Braunschweig
- LVDC-seitiger Anschluss über AC-Niederspannungsnetz
- Zwei Active-Front-Ends (AFE): jeweils eins in der MVDC- und LVDC-Ebene
- Kopplung der Spannungsebenen über DC/DC-Wandler
- Bidirektionaler Energieversorgung der Ebenen
- Zusätzliche Versorgung der LVDC-Ebenen durch gesteuerte Spannungsquellen (DCVS)
- Durch die Kombination der Betriebsmittel können verschiedenste Anwendungsfälle nachgebildet werden
- Steuerung und Überwachung aller Laborkomponenten über zentrale Leitwarte
- Variable Prüfdauer und Parameter durch digitale Ablaufsteuerung einstellbar

STEUERKARTE DES MVDC-SCHALTSCHRANKES

Zentrale Überwachung und Ansteuerung der Laborkomponenten

- Anbindung der Schaltschränke an Leitwarte über CAN / CAN FD
- Manuelle sowie automatisierte Ansteuerung der Schutztechnik
- Einstellung der relevante Regelparameier
- Übertragung von Messwerten zur Überwachung & Aufzeichnung an Leitwarte & elenia-Server



MITTELSPANNUNGSANSCHLUSS

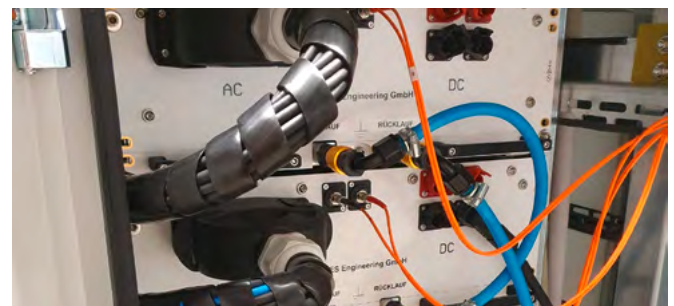
Ertüchtigung des Mittelspannungsabgangs mit Schutztechnik

- Anschluss: 6 kV AC – Mittelspannungsnetz der TU Braunschweig
- Absicherung der Mittelspannungstransformatoren: 63 A
- Absicherung des Laborabgangs: 31,5 A
- Zusätzliche Absicherung über zwei VD4-Vakuum-schalter direkt im Labor und am Abgang zu den Laboren

MITTELSPANNUNGSTRANSFORMATOR

Versorgung der AFE-Powermodule aus dem Mittelspannungsnetz

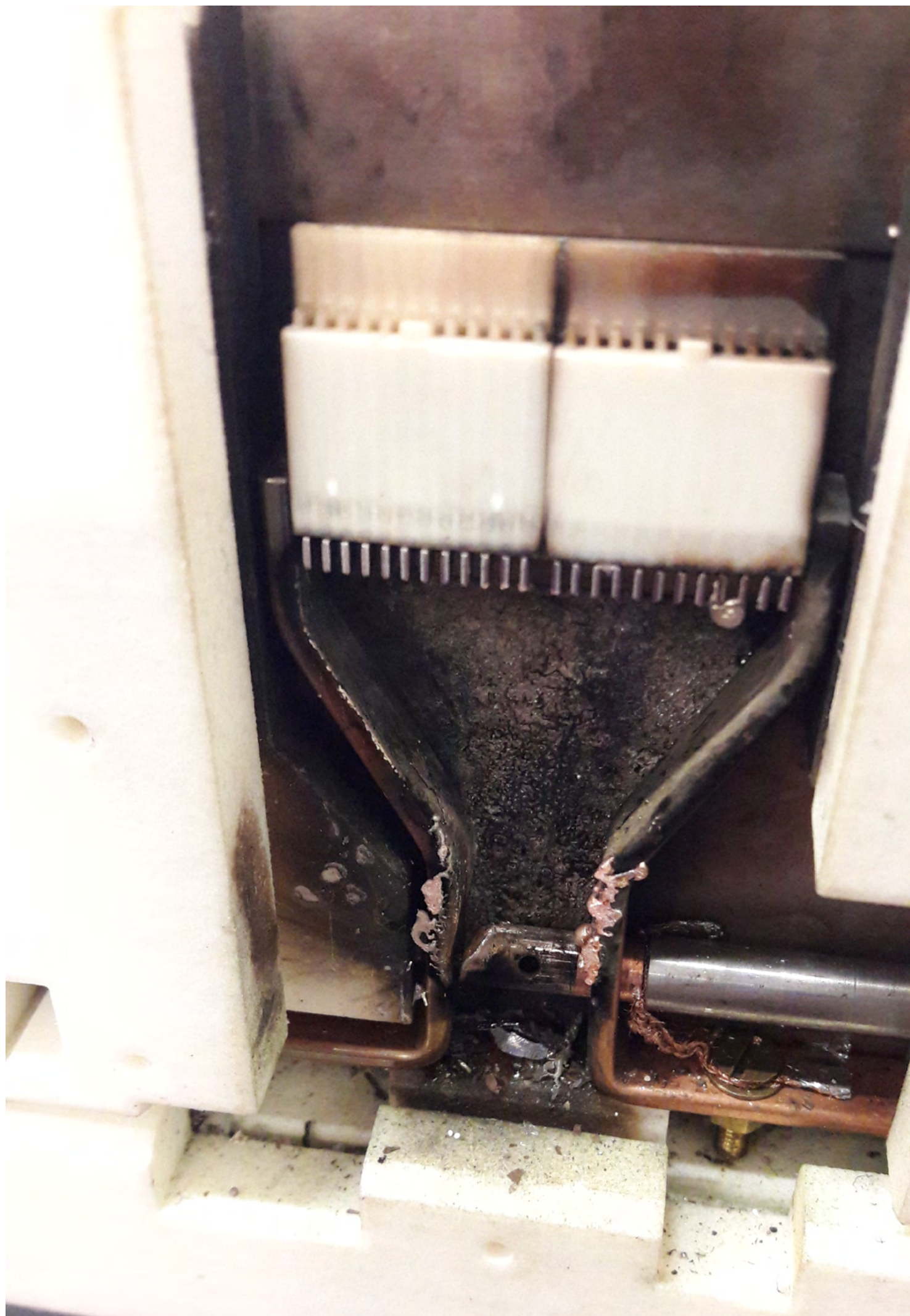
- Nennleistung: 220 kVA
- Primärseite: 6 kV AC
- Sekundärseite: 4 Wicklungen á 375 V AC
- Schaltgruppe: Dyn5



MVDC-AFE-LEISTUNGSMODULE

Filterung und Gleichrichtung der AC-Spannung

- Eingangsspannung pro Modul: 375 V AC
- Ausgangsspannung pro Modul: 750 V DC
- Integrierte EMV-Filter und Drosseln
- Symmetrische Verschaltung der Module: $\pm 1,5$ kV DC
- Nennleistung pro Modul: 50 kW
- Gesamtleistung: 200 kW



Hochleistungsgleichstromprüffeld



KONTAKT

Dr.-Ing. Dirk Bösche
✉ d.boesche@tu-braunschweig.de

AUFGABEN:

- Entwicklung und Optimierung von Gleichstromschaltern
- Untersuchung von Schalteigenschaften kommerziell erhältlicher DC-Schaltgeräten
- Untersuchung und Entwicklung von Hybridschaltgeräten
- Isolationskoordination und Untersuchung von Schaltvorgängen bei niedrigem Luftdruck

LEISTUNGSDATEN:

- Leistung: bis zu 18 MW
- Prüfspannung bis zu 12 kV
- Prüfstrom bis zu 30 kA
- Versorgung aus dem 6 kV- oder 20 kV-Netz

Hochleistungsgleichstromprüffeld

Labor zur Forschung und Entwicklung von Gleichspannungsschaltgeräten für eine erfolgreiche Energiewende

Neben dem Ausbau der erneuerbaren Energien, ist die Reduktion des Verbrauchs ein wichtiger Baustein der Energiewende. Gerade im Industriebereich werden die Vorteile von Gleichstromnetzen gegenüber herkömmlichen Wechselspannungsnetzen deutlich. Durch eine Umstellung lässt sich die Effizienz deutlich steigern. So kann die Bremsenergie bei von Umrichtern gesteuerten Antrieben wieder in das Netz zurückgespeist werden. Außerdem lassen sich regenerative Erzeuger einfacher integrieren und durch Batteriespeicher zusätzlich die Ausfallsicherheit erhöhen. Dabei geht der Trend zu immer höheren Spannungsebenen. Dadurch steigen die Anforderungen an die Schaltgeräte, welche in der Lage sein müssen betriebsbedingte Ströme zu führen und zu unterbrechen.

Um diese Schaltgeräte zu entwickeln und zu prüfen, sind geeignete Versuchseinrichtungen unerlässlich. Diese müssen in der Lage sein die geforderten Ströme und Spannungen bereitzustellen. Aus diesem Grund ist das neue Hochleistungsgleichstromprüffeld während des Projektes Universal Power Switch in der Hochspannungshalle des Institutes errichtet worden. Es beeindruckt mit seinen Leistungsdaten und kann eine Vielzahl an Prüfspannungen bei

geringer Welligkeit bereitstellen. Die maximale Gleichspannung beträgt 12 kV und der maximale Strom 30 kA. Dieser kann jedoch nicht auf allen Spannungsstufen abgerufen werden, sondern ist durch die Anschlussleistung von 18 MW begrenzt. Im Wesentlichen besteht die Primärtechnik aus der Mittelspannungsschaltanlage, den beiden Prüftransformatoren und dem Gleichrichter inklusive Leistungsschaltern.

Mittelspannungsschaltanlage

Die Versorgung des Hochleistungsgleichstromprüffeldes wird über eine institutseigene Schaltanlage sichergestellt. Diese verfügt über zwei unterschiedliche Einspeisemöglichkeiten. Zum einen kann auf das 6 kV-Netz der Universität zurückgegriffen werden. Die Anschlussleitung ist im Vergleich zur städtischen 20 kV-Anbindung gering. Allerdings muss keine Freigabe durch den Netzbetreiber erfolgen.

Aus dem 20 kV-Anschluss kann die maximale Leistung von 18 MW entnommen werden. Der Schutz der Anlage erfolgt durch einen Kurzschlussstrombegrenzer (IS-Begrenzer), auch um eventuelle Netzurückwirkungen zu unterbinden.

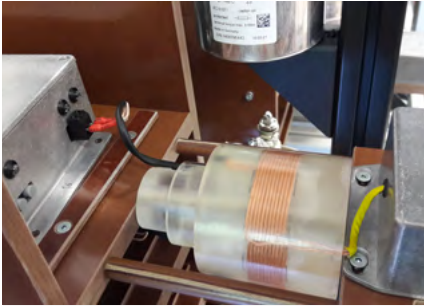
Prüftransformatoren

Die Mittelspannungsschaltanlage speist auf zwei Prüftransformatoren ein. Beide sind sekundärseitig in Stern verschaltet und verfügen über jeweils zwei getrennte Wicklungen je Phase. Diese verfügen über eine Vielzahl an Anzapfungen, die sich mittels Schnellverstellung nahezu beliebig verschalten lassen.

Dadurch kann eine Vielzahl an Spannungen gestellt werden. Primärseitig ist ein Transformator in Stern und der andere im Dreieck verschaltet. Dadurch wird eine Phasendrehung von 30° erreicht, was die Nutzung eines B12 Gleichrichters ermöglicht.

Gleichrichter

Die beiden Transformatoren stellen ein sechsphasiges System für den Gleichrichter zur Verfügung. Dabei speist jeweils ein Transformator eine der beiden in Reihe geschalteten B6-Brücken. Die vorgelagerten Leistungsschalter fungieren als Draufbeziehungsweise Sicherheitsschalter und trennen den Gleichrichter nach jedem Versuchsdurchlauf vom Netz. Der gesamte Prüfablauf wird über eine programmierbare digitale Ablaufsteuerung sichergestellt.



HOCHFREQUENZTRANSFORMATOR

- Versorgung der Thyristortreiber



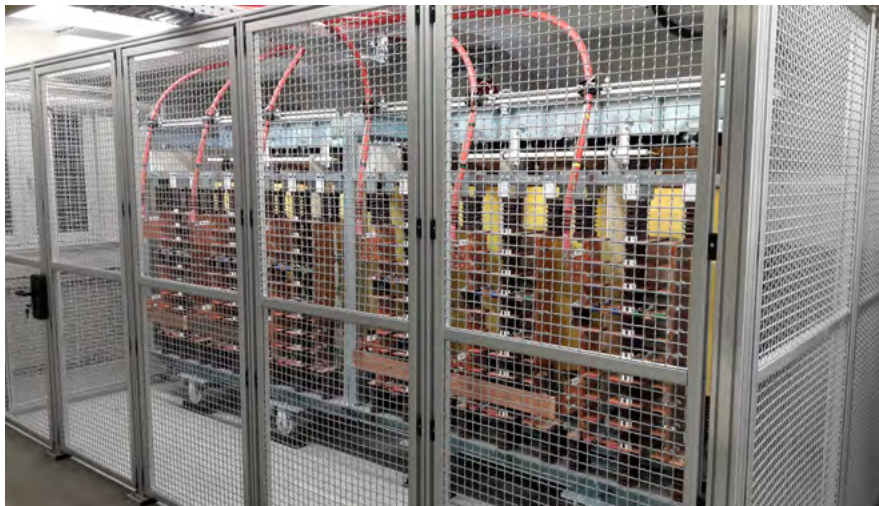
B12 GLEICHRICHTER INKLUSIVE VORGELAGERTER LEISTUNGSSCHALTER

- Max. Strom 30 kA
- Max. 12 kV



SCHALTANLAGE

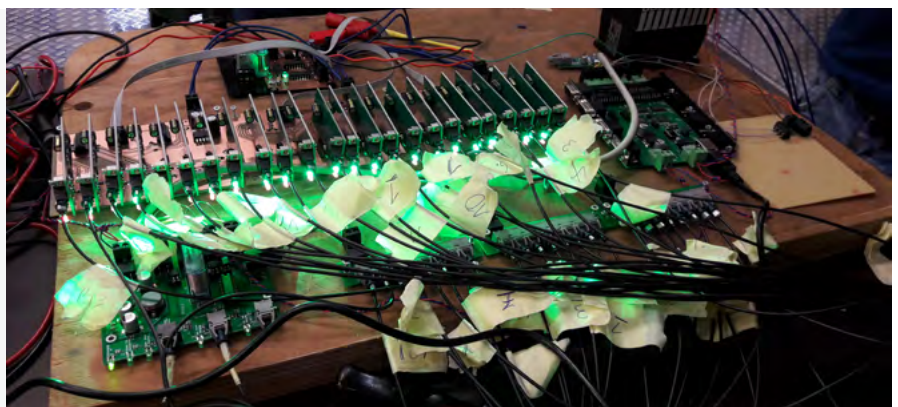
- Anbindung an das 6 kV Universitätsnetz oder 20 kV Netz des städtischen Netzbetreibers.



PRÜFTRANSFORMATOREN MIT ANZAPFUNGEN UND SCHNELLVERSTELLUNG ZUR EINSTELLUNG DER GLEICHSPANNUNG

- Leistung 1155 kVA
- Kurzzeitleistung 11258 kVA
- Schaltgruppen Diii(y) & Yiii(y)
- Baujahr 2021
- Gesamtgewicht je Trafo ca. 6800 kg

LABORSTEUERUNG WÄHREND DER ERSTINBETRIEBNAHME





Hochspannungshalle



KONTAKT

Karen Flügel, M.Sc.

✉ k.fluegel@tu-braunschweig.de

Laura Tiedemann, M. Sc.

✉ laura.tiedemann@tu-braunschweig.de

INTERNET

www.tu-braunschweig.de/elenia/forschung/hochspannungshalle



AUFGABEN UND LEISTUNGEN

- Hochspannungsmessungen (Überschlag/Durchschlag) mit Wechsel-, Blitzstoß- und Gleichspannung an Modellaufbauten oder Prototypen gemäß IEC 60060-1
- Teilentladungsmessungen und Interpretation an Modellen und Komponenten der Nieder-, Mittel- und Hochspannung, ggf. gemäß IEC 60270
- Dielektrische Materialprüfungen wie Verlustfaktor, relative Permittivität und Durchgangswiderstände bei variablen Frequenzen und Temperaturen
- Verschiedene Hochgeschwindigkeitskameras stehen zur Visualisierung von Entladungen zur Verfügung

Hochspannungshalle

Die Untersuchung der Isolationseigenschaften von Komponenten der Energieversorgung benötigt hohe Spannungen.

Die Hochspannungshalle des Institutes bietet viele Untersuchungsmöglichkeiten. So enthält das große Prüffeld zwei Systeme zur Hochspannungserzeugung von Wechsel- und Stoßspannungen. Es bietet außerdem die klassischen Hochspannungsprüfungen zur Untersuchung der elektrischen Festigkeit, unter anderem durch die Verwendung der Greinacher-Kaskade. Diese erzeugt aus einer eingangsseitigen Wechselspannung eine Gleichspannung, womit drei Spannungsformen im großen Prüffeld erzeugt werden können. Damit können zum Beispiel Hochspannungsisolatoren, Schaltgeräte oder komplexe Isoliersysteme auf ihre elektrische Festigkeit bei unterschiedlichen Bedingungen geprüft werden. Über einen Wechselspannungstransformator können für Wechselspannungen Amplituden von bis zu 800 kV erreicht werden. Mit Verwendung der Greinacher-Kaskade kann eine Gleichrichtung zu Gleichspannung erfolgen. Impulsspannungen wie Blitzstoßspannung können bis zu 2 MV über einen 8-stufigen Marx-Generator erzeugt werden. Zusätzlich können vielfältige Schaltungen

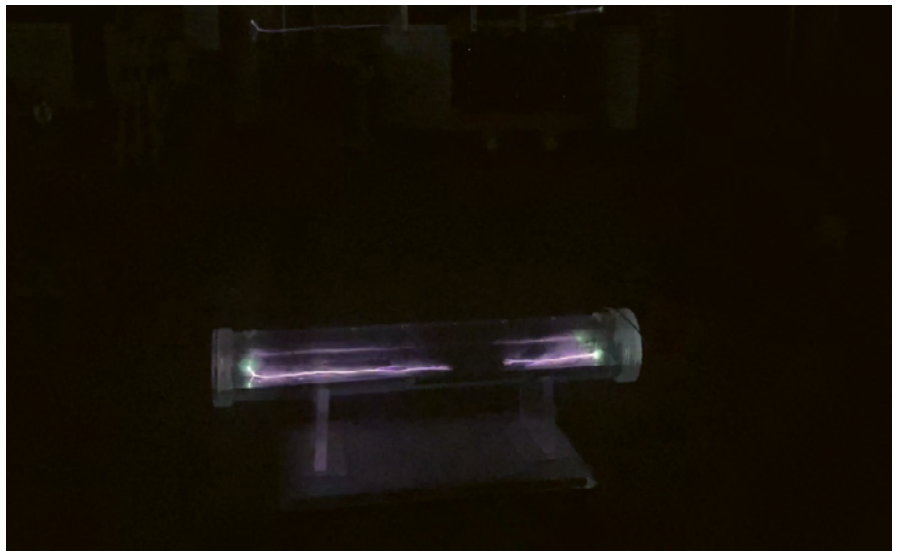
im Spannungsbereich bis etwa 300 kV über das ebenfalls vorhandene Baukastensystem aufgebaut werden. Neben der Erzeugung werden auch entsprechende Messgeräte und Spannungsteiler benötigt. Auch hier gibt es für jede Spannungsform und -höhe einen geeigneten Teiler. So stehen ein für bis zu 2 MV geeigneter gedämpft kapazitiver (Zaengl-) Teiler, verschiedene kapazitive Teiler bis 400 kV und ohmsche Teiler bis 200 kV oder – verbaut in der Greinacher-Kaskade – bis 800 kV zur Verfügung. Über Messsatelliten von Transienten-Recordern können die Spannungen potentialfrei übertragen und so die Sicherheit der Experimentatoren gewährleistet werden. Neben der Erzeugung und der Messung wird aber für korrekte Untersuchungen auch das passende Versuchsgefäß benötigt. Hier stehen ebenfalls bereits zahlreiche Aufbauten zur Verfügung und neue können in der Werkstatt des Institutes gefertigt werden. Vorhanden sind unter anderem ein Kryostat für Untersuchungen bis 200 kV bei Temperaturen von -190°C in flüssigem und gasförmigem Stickstoff. Der Kryostat bie-

tet außerdem Möglichkeiten zur visuellen Beobachtung der Entladung über Hochgeschwindigkeitskameras und Schaugläser. Eine Bestrahlung des Aufbaus ist ebenfalls möglich. Alternativ können auch Untersuchungen im Vakuumprüfgefäß mit bis zu 400 kV bei 10^{-5} mbar durchgeführt werden. Aktuelle Untersuchungen an diesem Prüfgefäß dienen der optischen Beobachtung von Durchschlägen bei Versuchen mit Blitzstoßspannungen. Für Untersuchungen mit alternativen Gasen kann ein Druckprüfgefäß genutzt werden. Dieses bietet Messungen in einem Bereich von bis zu 12 bar und Spannung bis zu 150 kV.

Um die Begeisterung an der Hochspannungstechnik schon früh zu wecken, wurden einige Show-Versuche aufgebaut. Im Rahmen von Vorlesungen oder dem Zukunftstag kam das Raten der Musikstücke, die vom Musik-Tesla eindrucksvoll wiedergegeben wurden, gut an. Die Student:innen und Schüler:innen konnten außerdem elektrostatische Aufladung am Bandgenerator am eigenen Leib erfahren, bis ihnen die Haare zu Berge standen.



Musik Tesla



Gleitentladung über die Oberfläche von Wasser



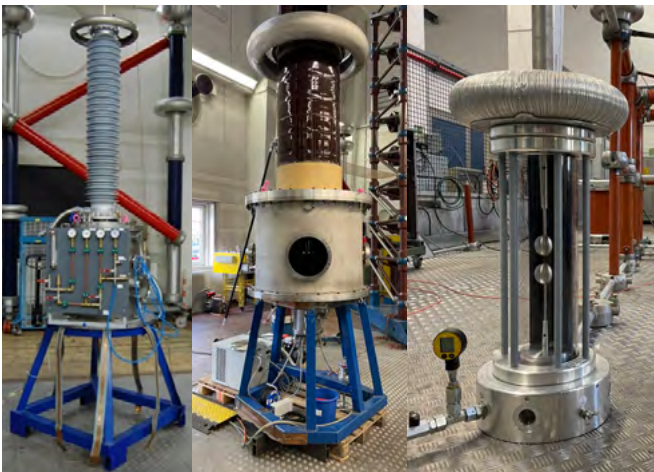
MARX-GENERATOR

- Stoßspannungsgenerator für Schalt- und Blitzstoßspannungen bis 2 MV und 50 kJ
- Belastungskapazität und Widerstände einstellbar für normgerechte 1,2/50 Impulse
- Gedämpft kapazitiver Teiler bis 2 MV



WECHSELSPANNUNGSTRANSFORMATOR

- 50 Hz-Wechselspannungstransformator bis 400 kV / 400 kVA (bis 800 kV möglich)
- Pressgaskondensator für Spannungsmessung



PRÜFGEFÄSSE

- Kryostat bis -190°C und ca. 200 kV bis 3 bar Absolut-Druck
- Vakuumprüfgefäß bis 400 kV bei 10^{-5} mbar mit Schaugläsern
- Druckprüfgefäß bis 12 bar absolut und 150 kV

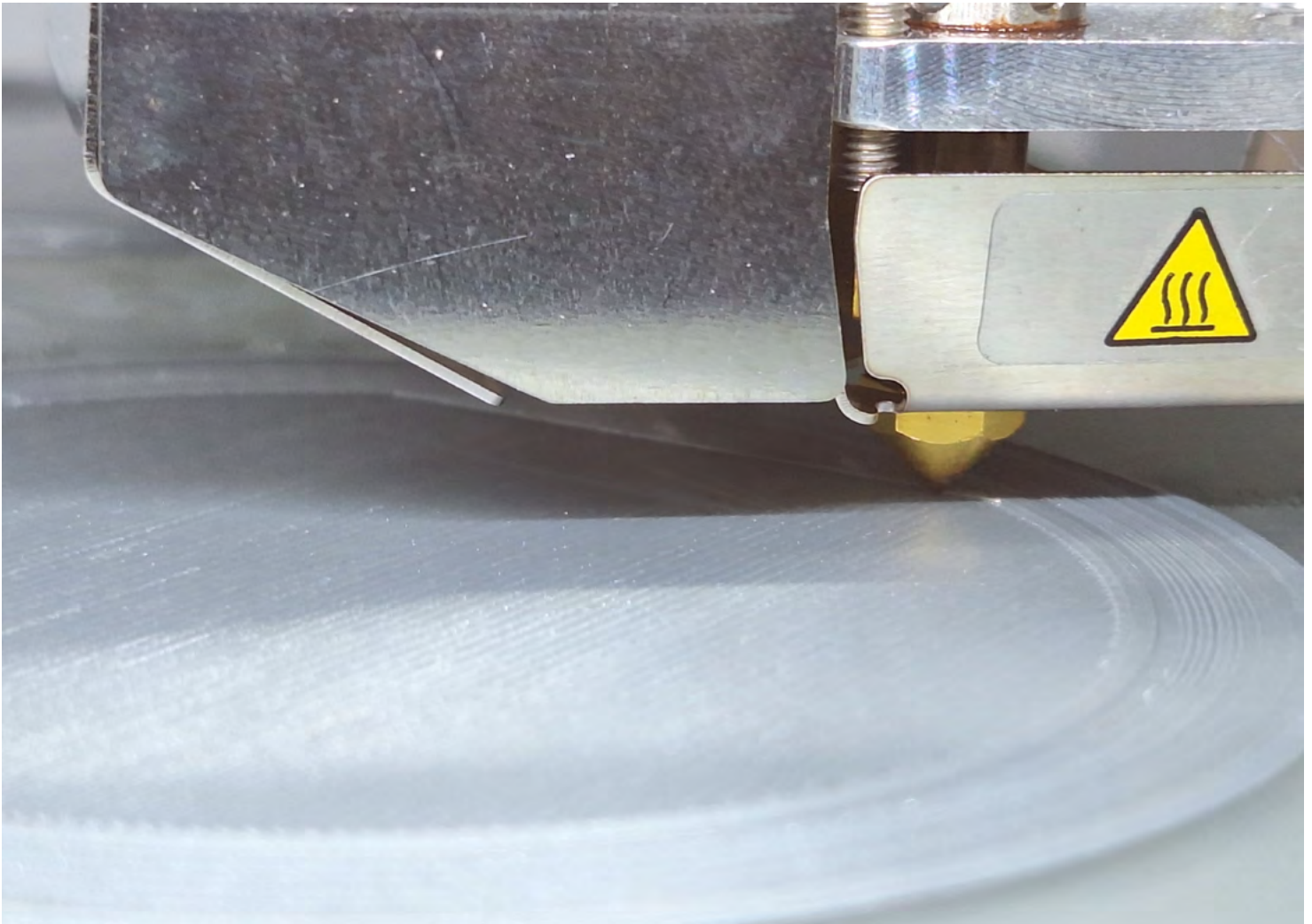


HOCHSPANNUNGSBAUKASTENSYSTEM

- 50 Hz-Wechselspannungstransformator bis 200 kV
- Verschiedene Baukastenkomponenten bestehend aus Kapazitäten, Widerständen und Dioden



Isolierstofflabor



KONTAKT

Maik Kahn, M.Sc.

✉ m.kahn@tu-braunschweig.de

INTERNET

www.tu-braunschweig.de/elenia/forschung/hochspannungstechnik



AUFGABEN UND LEISTUNGEN

- Dielektrische Materialprüfungen
- Langzeitverhalten von Isolierstoffen
- Modellbildung und Simulation
- Prüfkörperherstellung
- Teilentladungsmessungen und Interpretation an Modellen und Komponenten

Isolierstofflabor

Moderne Isolierstoffdiagnostik für Elektromobilität und Hochspannung

Im Isolierstofflabor des elenia werden Isolierstoffe für Anwendungen in der Elektromobilität sowie in Hochspannungsanwendungen systematisch geprüft, analysiert und weiterentwickelt. Die stetig wachsenden Anforderungen an moderne Isoliermaterialien, insbesondere in elektrischen Antrieben und Energieübertragungssystemen, machen es notwendig, neben bewährten Prüfverfahren auch neue, innovative Konzepte und Diagnostikmethoden zu etablieren, um eine präzise Bewertung und zuverlässige Lebensdauerabschätzung sicherzustellen.

Ein zentrales Forschungsthema bildet die Integration der neuen Halbleitergenerationen auf Basis von Siliziumkarbid (SiC) und Galliumnitrid (GaN). Diese Materialien, die sich durch hohe Schaltgeschwindigkeiten und herausragende Energieeffizienz auszeichnen, setzen neue Maßstäbe, bringen jedoch gleichzeitig erhebliche Herausforderungen für bestehende Isoliersysteme mit sich. Besonders die durch schnelle Spannungsflanken entstehenden Teilentladungsphänomene erfordern angepasste Messtechnik und eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Forschung, Entwicklung und Anwendung.

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, wurde das Isolierstofflabor kürzlich um einen ersten Hochfrequenz-Hochspannungs-Generator (HFHV) erweitert. Der in Betrieb genommene Generator ermöglicht

Prüfungen bei 20 kHz und Spannungen bis zu 7 kV. Parallel erfolgt die strukturelle Neugestaltung der elektrisch geschirmten TEMesskabine, um künftig auch Isoliersysteme größerer elektrischer Anwendungen wie z. B. Elektromotoren zu untersuchen. Dies stellt den ersten Schritt in der umfassenden Erweiterung des Labors dar. Aktuell wird ein weiterer HFHV-Generator für Prüfungen bei 40 kHz und bis zu 10 kV konzipiert.

Mit der Integration additiver Fertigungsverfahren, 3D-Drucker basierend auf Fused Filament Fabrication (FFF) und Stereolithografie (SLA), können komplexe, funktional optimierte Prüfkörper kosteneffizient und flexibel gefertigt werden. Eine eigens eingerichtete Workstation ermöglicht den durchgängigen Workflow vom CAD-Design über die additive Fertigung bis hin zur elektrischen Prüfung, Alterung und Optimierung an einem Ort. Damit werden maßgeschneiderte Lösungen für spezifische Fragestellungen der Isolierstofftechnik realisiert.

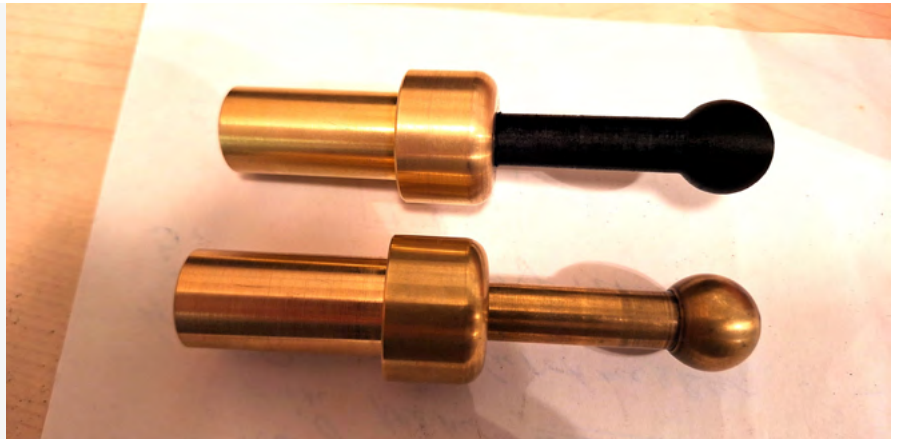
Mit diesen gezielten Verbesserungen in Infrastruktur, Technologie und Methodik stärkt das elenia seine Position im Bereich der Isolierstoffforschung. Das Labor leistet damit einen Beitrag zur Qualitätssicherung, Effizienzsteigerung und Zuverlässigkeit moderner elektrischer Energiesysteme und fördert gleichzeitig die Ausbildung und Nachwuchsförderung in einem zukunftsweisenden Forschungsfeld.



Metallisierte Kunststoffproben zur Verbesserung der Messgenauigkeit durch aufgedampfte Elektroden

Additive Fertigung von Elektroden mittels leitfähiger Kunststoffe

- ESD-PLA als leitfähiges 3D-gedrucktes Thermoplast
- Kugel-Elektrode als Ersatz für Messing



Grundlegende Komponenten des Isoliersystems vom Elektromotor

- Vergussmaterial
- Isolierpapier
- Lackdraht

Visualisierung des Füllgrads von Prüfkörpern

- Ermöglicht optimierte Prüfkörper
- Materialeinsatz nur in kritischen Bereichen





OP1263
REAL-TIME MONITORING WITH

REMOTE
OFFERS ON

START
STOP

ENABLE
DISABLE

SW1 AC
DISCONNECT

START
STOP

SW2 DC
DISCONNECT

OPAL-RT
TECHNOLOGIES

SFP Modules
CH0 CH2 CH4 CH6

JTAG

PROG
CFG OK
RX
TX

TX RX
TX RX
SYNCHRO

CHASSIS INDEX
7 0
USER 1
USER 2
PWR ON
MASTER/SLAVE

OP4510
RCP/HIL FPGA-BASED REAL-TIME SIMULATOR

OPAL-RT
TECHNOLOGIES

STATUS
FAULT
POWER
RECONFIG

OPAL-RT
TECHNOLOGIES

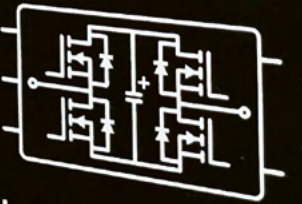
STATUS
FAULT
POWER
RECONFIG

OPAL-RT
TECHNOLOGIES

STATUS
FAULT
POWER
RECONFIG

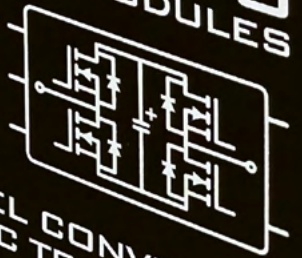
OPAL-RT
TECHNOLOGIES

OP1210
10 FB/HB SUB-MODULES



MODULAR MULTILEVEL CONVERTER
MMC TEST BENCH

OP1210
10 FB/HB SUB-MODULES



MODULAR MULTILEVEL CONVERTER
MMC TEST BENCH

Kooperationslabor



KONTAKT

Timo Jelden, M.Sc.

✉ timo.jelden@tu-braunschweig.de

INTERNET

[www.tu-braunschweig.de/elenia/forschung/
komponenten-der-energieversorgung/
dc-systeme](http://www.tu-braunschweig.de/elenia/forschung/komponenten-der-energieversorgung/dc-systeme)



AUFGABEN UND LEISTUNGEN

- Validierung von vermaschten DC-Systemen mit Echtzeitsimulationskonzepten
- Betriebs-, Regelungs- und Schutzkonzepte von MMC-basierten DC-Systemen
- Modellbildung und Simulation

Kooperationslabor

MMC-basiertes DC-System für die Validierung von Betriebs-, Regelungs- und Schutzkonzepten mit PHiL-Simulationen

Im Rahmen der Energiewende gewinnen verlustarme Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungssysteme (HGÜ) für die Übertragung großer Leistungen über weite Strecken zunehmend an Bedeutung. Die Validierung von vermaschten Gleichstromnetzen im Bereich der HGÜ stellt jedoch insbesondere aufgrund der Komplexität solcher Systeme nach wie vor eine große Herausforderung dar.

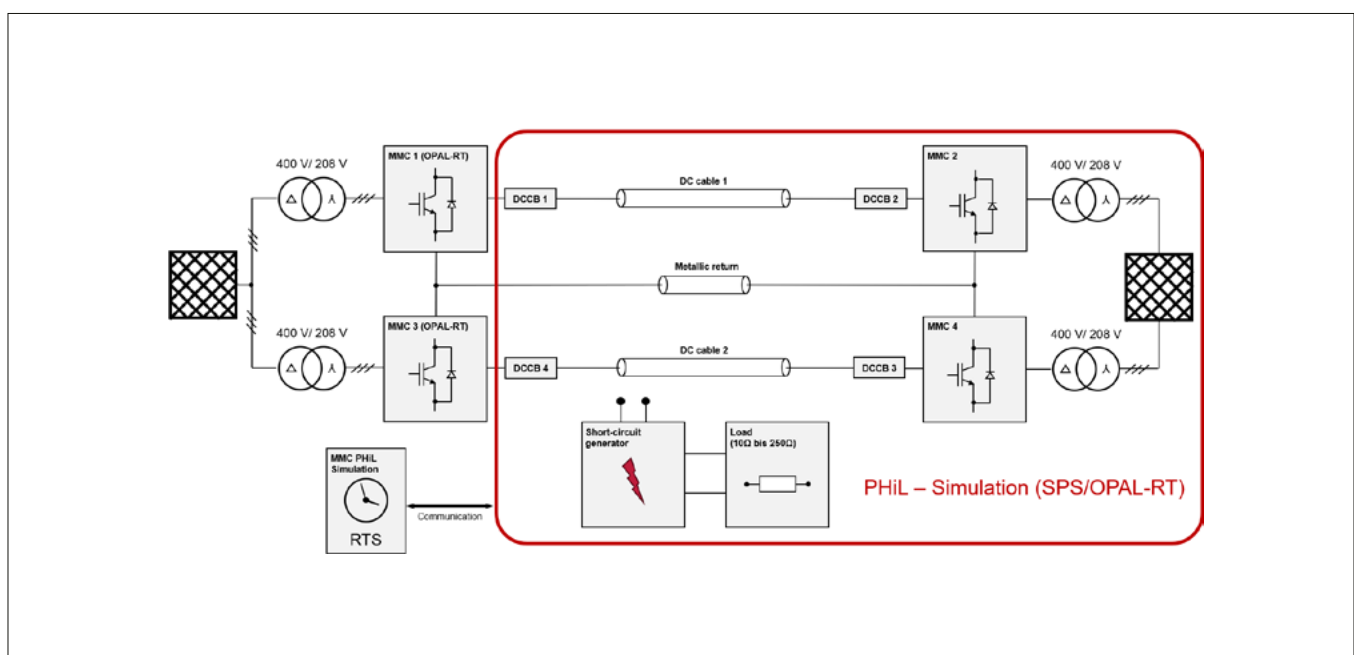
Hier besteht ein großer Bedarf nach einem Proof of Concept anhand von Prototypen im Labormaßstab. Genau hier liegt der Schwerpunkt des Kooperationslabors, welches das elenia gemeinsam mit dem Institut für Elektrische Anlagen und Automatisierungstechnik (IfEA) der Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften aufgebaut hat. Damit ist die Validierung von Betriebs-, Regelungs- und Schutzkonzepten in einer realen Umgebung möglich. Diese prototypischen Implementierungen bilden die Schnittstelle zwischen Simulation und großskaliger Realisierung. Experimente können im Labor risikoarm und unter definierten Bedingungen durchgeführt werden. Die so gewonnenen Ergebnisse unterstützen die Aussagekraft reiner Simu-

lationen erheblich und leisten damit einen wichtigen Beitrag zur Erhöhung des Technology Readiness Levels (TRL).

Aufgrund der Komplexität der betrachteten DC-Systeme können nicht alle Systemelemente im Labor nachgebildet werden. Mit Hilfe von Power-Hardware-in-the-Loop (PHiL) können jedoch einige Elemente in Echtzeitsimulationen ausgelagert werden, um dennoch ein vollständiges System abbilden zu können. Dazu müssen nicht alle abgebildeten Hardwarekomponenten physisch vorhanden sein und gleichzeitig können zusätzliche Flexibilität geschaffen werden. Das Kooperationslabor in den Räumen des IfEA am Standort Wolfenbüttel verfügt über eine geeignete Laborinfrastruktur und konzentriert sich auf die Validierung von DC-Systemen mit labor-skalierten Prototypen, die Regelung und Performance von Modulen Multilevel Konvertern (MMC) sowie Konzepte und Anwendungen von PHiL. Die dort eingesetzten Echtzeitsimulatoren und Leistungsverstärker sowie reale, skalierte MMCs sind wesentliche Komponenten der Laborausstattung. Der Laborprototyp interagiert mit den Elementen innerhalb der Echtzeitsi-

mulation und umgekehrt, wobei der Leistungsverstärker die Schnittstelle bildet. Im Labor kann der Validierungsprozess und die Entwicklung von PHiL-Experimenten mit Echtzeitsimulationen von MMCs und DC-Systemen getestet werden.

Der Schwerpunkt der aktuellen und zukünftigen Arbeiten liegt auf der Analyse der Wechselwirkungen zwischen AC- und DC-Systemen sowie den Schutz- und Regelungskonzepten von MMC und DC-Netzen. Der Laboraufbau wird derzeit hardwareseitig durch einen zusätzlichen, ebenfalls skalierten MMC sowie einen weiteren Leistungsverstärker zu einer bipolaren Punkt-zu-Punkt-Verbindung erweitert, um reale Systeme noch besser abbilden zu können. Durch den erweiterten Einsatz von PHiL können die Kabelnachbildungen auch simulativ genauer dargestellt werden, wodurch sich das Verhalten immer mehr dem einer realen Leitung mit großer Länge annähert. Durch den flexiblen Hardwareaufbau in Kombination mit der Echtzeitsimulation wird es in Zukunft auch möglich sein, hybride AC/DC-Netze mit Multi-Terminal-Systemen abzubilden.



Geplanter schematischer Aufbau des HGÜ-Systems im Kooperationslabor



ECHTZEITSIMULATOR

Simulation von AC/DC-Systemen und MMCs in Echtzeit

- OPAL-RT OP5707XG
- Analog/Digital IO
- Kommunikationsprotokolle wie IEC61850
- Schnittstelle zu Leistungsverstärkern für PHiL

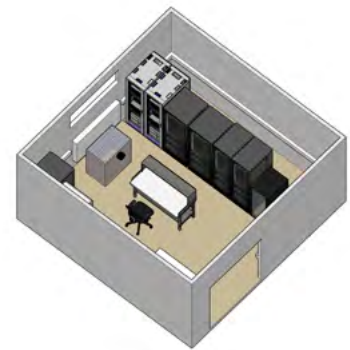


Quelle: OPAL-RT Technologies

MODULAR MULTILEVEL CONVERTER (MMC)

RCP-Plattform für Validierung von Betriebs-, Regelungs- und Schutzkonzepten

- OPAL-RT OP1200
- 400V DC, 6 kW
- 11 Level
- 5 kHz PWM-Frequenz



GEPLANTER LABORAUFBAU

CAD-Modell

- Echtzeitsimulator
- 2 Linearleistungsverstärker
- 2 Schaltschränke für Schalterpanel, DC-Kabelnachbildungen, DC-Schalter und weitere Komponenten
- 2 Modulare Multilevel Konverter (MMC)
- 2 Transformatoren
- Lastwiderstand
- Netzsimulator



Quelle: Chroma ATE Inc.

NETZSIMULATOR

Flexible AC-Spannungsquelle

- Choma 61815 Netzsimulator
- 15 kVA, 350V AC
- DC, sowie 30 Hz bis 100 Hz
- Phasen unabhängig voneinander ansteuerbar

LINEARVERSTÄRKER

Flexibler Verstärker mit hoher Bandbreite

- Spitzenberger und Spies APS15000
- 15 kW, 570V DC
- > 52V/μs Anstiegsgeschwindigkeit
- Schnittstelle zu Echtzeitsimulator für PHiL



LEISTUNGSVERSTÄRKER

Verstärker mit vollem 4Q-Betrieb

- Triphase PM15
- 15 kW, 650V DC
- 16 kHz PWM-Frequenz
- Schnittstelle zu Echtzeitsimulator für PHiL



Leistungsprüffeld



LABORVERANTWORTLICHE

Timo Meyer, M.Sc.

✉ Timo.meyer@tu-braunschweig.de

David Cziumplik, M. Sc.

✉ david.cziumplik@tu-braunschweig.de

INTERNET

www.tu-braunschweig.de/elenia/forschung/synthetisches-leistungsprueffeld

AUFGABEN UND LEISTUNGEN

- Leistungsprüfung
 - Prüfung von Leistungsschaltern bis $U_N=72,5 \text{ kV}$
 - Kurzschlussprüfung 1-phasig
- Kontaktgeometrieuntersuchung
 - Untersuchung neuartiger Kontaktgeometrien
- Thermografieuntersuchung
 - Untersuchung von Oberflächentemperaturen bei verschiedenen Materialien



Leistungsprüffeld

Synthetische Erzeugung von Prüfbedingungen für Leistungsschalter der Mittel- und Hochspannungsebene

Das synthetische Prüffeld des Instituts dient der Erforschung von Vakuumleistungsschaltern für den Einsatz in Hochspannungsebenen. Dafür werden Kurzschlussbedingungen, die maximale Belastungen für Leistungsschalter darstellen, synthetisch im Prüffeld nachgestellt.

Zur Etablierung des Vakuumleistungsschalters auf der Hochspannungsebene werden verschiedene Konfigurationen untersucht, darunter Optionen mit zwei in Reihe geschalteten Vakuumschaltkammern sowie variable Kontakthübe. Hierfür wurde ein spezieller Vakuumrezipient entwickelt, der variable Kontakthübe ermöglicht. An diesem Vakuumswitcher werden Ausschaltuntersuchungen durchgeführt. Hierzu wird der Schalter zunächst einem hohen Kurzschlussstrom ausgesetzt. Während des Stromflusses wird der Schalter geöffnet, woraufhin ein Metaldampfbogen entsteht.

Nach dem Erlöschen dieses Bogens wird der Schalter einer gedämpften Spannungsschwingung, auch als transiente Einschwingspannung bezeichnet, ausgesetzt. Während des Schaltvorgangs im Netzwerk können Netzfehler auftreten, die zu Kurzschlussströmen und Einschwingspannungen

führen. Um den Kurzschlussstrom zu erzeugen, wird eine Hochstrom-Kondensatorbank verwendet. Diese wird mit einer maximalen Spannung von 3 kV aufgeladen, wodurch eine halbe Sinusstromschwingung mit einem maximalen Strom von 63 kA (RMS) bei einer Frequenz von 35 Hz oder 50 Hz erzeugt wird.

Die Hochspannungskondensatorbank ist verantwortlich für die Erzeugung der transienten Einschwingspannung, die durch eine getriggerte Funkenstrecke kurz vor dem Stromnulldurchgang geschaltet wird. Die Kondensatorbank kann bis zu 150 kV aufgeladen werden. Aus Sicherheitsgründen erfolgt die Aufladung jedoch nur bis zu einer Spannung von 90 kV. Dies führt zu einem Scheitelwert der transienten Einschwingspannung von 140 kV.

Die weiteren Komponenten des Hochspannungskreises sind modular konzipiert, so dass sich verschiedene Spannungsanstiegszeiten und Frequenzen realisieren lassen. Die Frequenz der Einschwingspannung bewegt sich im Bereich von 5 bis 40 kHz. Diese Spanne deckt die Frequenzen ab, die üblicherweise in Mittel- und Hochspan-

nungsebenen während eines Fehlerfalls auftreten, und geht teilweise darüber hinaus, um eine erhöhte Belastung für den Schalter zu simulieren.

Während der Versuche wird der entstehende Metaldampfbogen durch ein Schauglas mit einer High-Speed-Kamera beobachtet. Dieser Vorgang ermöglicht die Charakterisierung des Bogens und die Überprüfung verschiedener Modellvorstellungen. Bei einer Kontaktgeometrie, wie sie beim Transversal-Magnetfeld-Kontakt (TMF-Kontakt) vorliegt, rotiert der Bogen mit einer sehr hohen Geschwindigkeit von bis zu 1000 m/s auf den Kontaktstückoberflächen, was zu unterschiedlichen Phänomenen führt. Diese schnellen Phänomene werden mithilfe der hohen Auflösung (1024×1024) und einer maximalen Bildfrequenz von 800 kfps der Kamera detailliert erfasst.

Um neue Kontaktgeometrien sowie individuelle Abschirm- und Steueranordnungen für Vakuumanwendungen zu testen, werden in einem Klapp-Rohröfen unter Vakuum Temperaturen bis zu 1200°C erzeugt. In diesem Ofen können Keramiken mit einem Durchmesser von bis zu 200 mm gelötet werden.



HOCHSTROM (LINKS) / HOCHSPANNUNGS-
(RECHTS) KONDENSATORBANK

Einphasige, synthetische Prüfung von Leistungsschaltern

- Max. Strom 63 kA(RMS)
- Max. 140 kV TRV
- Kreisfrequenz 35 Hz / 50 Hz
- TRV-Frequenz 5 bis 40 kHz



CARBOLITE GERO TS1

Freistehender Klappofen zum Vakuumlöten von Prüfanordnungen und Kontaktstücken

- Nutzbare Durchmesser 200 mm
- Temperatur bis 1200 °C
- Temperaturgradienten frei wählbar



VAKUUM-VERSUCHSSCHALTER

Untersuchung der Plasmaphänomene zwischen Schaltkontakten möglich

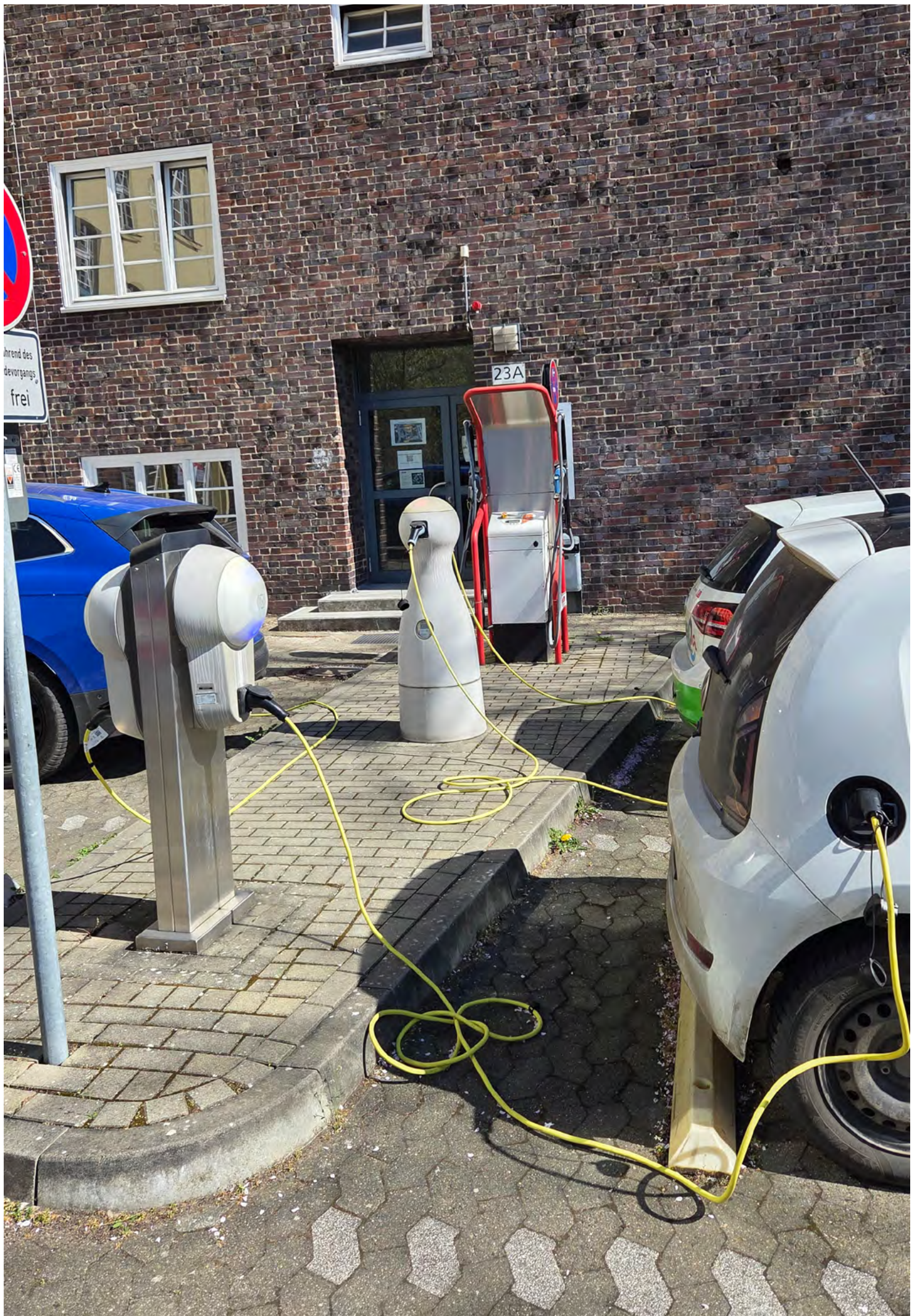
- Spezieller Vakuumrezipient
- Vakuumpumpe ($p < 10^{-7}$ mbar)
- Variabler Hub bis 2x40 mm
- Reihenschaltung von 2 Leistungsschalter möglich

NOVA S6 VON PHOTRON

Zur visuellen Untersuchung der Lichtbögen steht eine High-Speed Kamera zur Verfügung

- Auflösung bis zu 1024x1024 Pixel
- Schwarz-Weiß Aufnahmen
- Maximale Bildfrequenz 800 kfps
- Maximale Belichtungszeit von 200 ns





elenia-Ladepark



KONTAKT

Lukas Ebbert, M.Sc.

✉ l.ebbert@tu-braunschweig.de

☎ +49 531 391-9727

Robin Herman, M.Sc.

✉ r.herman@tu-braunschweig.de

☎ +49 531 391-7702

INTERNET

www.tu-braunschweig.de/elenia/forschung/elektromobilitaet



AUFGABEN UND LEISTUNGEN

- Erprobung von Konzepten zur Netz- und Systemintegration von Elektrofahrzeugen
- Untersuchung netzdienlicher Ladestrategien
- Forschung zu erzeugungsorientiertem und netzorientiertem Laden
- Lösungsansätze zur Erhöhung der Aufnahmekapazität von EVs im Niederspannungsnetz
- Lademanagement von Elektrofahrzeugflotten

Ladepark am Mühlenpfordthaus

Reale Erprobung von Konzepten und Strategien zur erfolgreichen Integration von Elektrofahrzeugen im Netz

Der elenia-Ladepark am idyllischen Oke-rufer direkt neben dem Mühlenpfordthaus bietet nicht nur sechs Ladeparkplätze für die zukünftig steigende Anzahl von Elektrofahrzeugen in Braunschweig, sondern auch eine große Vielfalt an verschiedenen Ladesäulen und Wallboxen. Die dortige Ladeinfrastruktur bietet vier institutsinterne, fest installierte Ladesäulen. Der Großteil des weiteren Ladeequipments ist allerdings auf mobilen item-Gestellen aufgebaut und lässt sich je nach Bedarf frei verschieben. So können im Netzdynamiklabor (NDL) und im Energiemanagementlabor (EML) des elenia eine große Anzahl an unterschiedlichen Testaufbauten realisiert werden. Die aus den Ladevorgängen gewonnenen Daten der institutsinternen Infrastruktur können zur weiteren Auswertung in einem eigens dafür angelegten Backend online gespeichert werden und so in am Institut laufende Projekte, wie beispielsweise MELANI oder NetFlexum, gewinnbringende Verwendung finden. Weiterhin werden die fest installierten Ladesäulen seit Neuestem auch von einem SMA Energymeter überwacht. So können diese auch in ein Energiemanagementsystem eingebunden werden, bei dem beispielsweise erzeugungsorientierte Ladestrategien untersucht werden. Abgerundet wird das Ganze durch eine Kopplung des Ladeparks mit dem EML und dem NDL. Letztere ermöglicht die Untersuchung des Einflusses von Ladevorgängen auf spezifische Netztopologien und Netznutzungsfälle. Des Weiteren können so innovative netzdienliche Funktionen, wie beispielsweise eine in der Ladesäule integrierte Q(U)-Regelung, analysiert und getestet werden. Insgesamt werden die Ladeinfrastruktur und das Laborequipment laufend weiterentwickelt und verbessert, um auf die Veränderungen und Innovationen des stetig wachsenden Elektromobilitätsmarktes zu reagieren.

Interoperabilität von Ladeequipment und EV

Ein weiterer Fokus liegt auf der Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladesäule. Diese ist essenziell für den reibungslosen Ablauf eines Ladevorgangs und so auch der Akzeptanz der Elektromobilität im Allgemeinen. Im Projekt LISA4CL wird in Zusammenarbeit mit Partnern ein induktives Ladesystem für Leistungen bis 22 kW entwickelt. Die Aufgabe des elenia besteht u. a. darin, eine normkonforme Kommunikation zwischen Primär- und Sekundärseite des Induktivübertragers zu entwickeln und zu erproben. Während des Ladevorgangs werden Parameter, wie die Ladeleistung oder der Ladezustand der Batterie (SoC), ausgetauscht. Um netzdienliche Funktionen, wie das bidirektionale Laden von EVs zu realisieren, muss diese Kommunikation ausgelesen und anschließend in diese eingegriffen werden. Dies geschieht mittels sogenannter Entwicklerplatinen für die Fahrzeug- und die Infrastrukturseite, welche in der Industrie zur Kommunikationsentwicklung eingesetzt werden, und wir von unseren Projektpartnern zur Verfügung gestellt bekommen. Diese können die Kommunikation im CAN-Format auslesen und so für die weitere Programmierung zur Verfügung stellen. Dadurch kann beispielsweise bei einer lokalen Spannungsabsenkung im Netz ein Signal an in der Nähe ladende Fahrzeuge übermittelt werden, sodass Leistung aus dessen Batterien zurück ins Netz gespeist wird. So kann die Spannung am entsprechenden Netzknoten wieder angehoben und Schäden an Betriebsmitteln oder Verbrauchern verhindert werden.

Eine weitere praktische Anwendung finden Entwicklerplatinen in für Laborversuche aufgebaute Ladenachbildungen (s. Fotos). Mit den Nachbildungen können im Labor AC- und DC-Ladevorgänge mit verschiedenen Ladesäulen simuliert werden. Dabei bildet AC-Ladenachbildung

dem im EV befindlichen Teil der Kommunikation nach. Die Fahrzeugbatterie kann dabei durch eine AC-Last abgebildet werden. Zusätzlich ist es auch möglich, mithilfe eines bidirektionalen Gleichrichters und eines Batterieemulators die DC-Parameter des AC-Ladevorgangs zu erfassen und das Verhalten verschiedener Batterietypen und -größen zu simulieren.



AC-Ladenachbildung

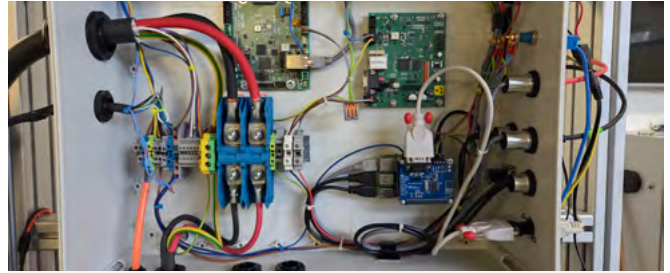
Abgerundet wird der Ladepark durch eine eigens aufgebaute AC-Ladesäule für das am Institut angebotene Praktikum Elektromobilität (s. Foto Hardware). Diese wird mit einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) betrieben und kann so verschiedene Ladesituationen am institutseigenen eGolf nachbilden. Um im Praktikum auch DC-Ladevorgänge untersuchen zu können, existiert auch eine aufgebaute bidirektionale DC-Ladesäule. Diese ist wiederum mit einer Entwicklerplatine ausgestattet und kann so mit eigens in der Programmiersprache Python entwickelten Skripten und einer über CAN-Bus steuerbaren DC-Quellen DC-Ladevorgänge nachbilden. So können Studierende einen ganzheitlichen Einblick in die Ladeabläufe gewinnen sowie die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladesäule untersuchen. Dies ermöglicht praxisnahe Einblicke in die Grundlagen der Elektromobilität und versucht den Studierenden die Herausforderungen der Netz- und Systemintegration von EVs zu verdeutlichen.



LADEPARK AM MÜHLENPFORDTHAUS

Auf 6 Ladeparkplätzen können hier EVs geladen werden

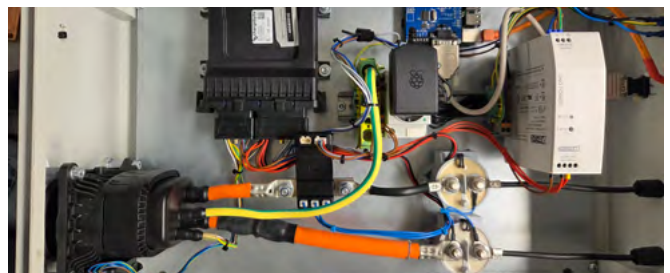
- 3 Ladesäulen mit 6 Ladepunkten
- Max. 22 kW dreiphasiges AC-Laden (32 A)
- Max. 20 kW DC-Laden (via CCS- und CHAdeMO-Stecker)



BIDIREKTIONALE DC-LABORLADESÄULE

Auf Basis von Open-Source-Software

- Max. Leistung 20 kW
- Ein Anschlusspunkt



Fahrzeugnachbildung für das DC-Laden

- Max. Leistung bis 20 kW
- Bidirektionales Laden möglich
- Betrieb in Verbindung mit einem Batterieemulator möglich



PION WAVE

Mobile dreiphasige Wallbox für Laboruntersuchungen

- Max. Leistung 22 kW (32 A)
- Ein Anschlusspunkt
- Innovatives Design in Waschbetonoptik



SMA EV CHARGER BUSINESS

Mobile dreiphasige Ladesäule für Laboruntersuchungen

- Max. Leistung 22 kW (32 A)
- Zwei Anschlusspunkte
- Für den gewerblichen Bereich



LABORLADESÄULE DES PRAKTIKUMS ELEKTROMOBILITÄT

Dreiphasige, durch SPS gesteuerte, AC-Ladesäule

- Max. Leistung 22 kW (32 A)
- Einblick in die Sicherheits- und Steuerungskomponenten
- Bidirektionales Laden möglich



Energiemanagementlabor



KONTAKT

Laborverantwortlicher:

Dr.-Ing. Frank Soyck

✉ f.soyck@tu-braunschweig.de

☎ +49 151 6511-9141

Stellvertretender Laborverantwortlicher:

Kevin Preißner, M.Sc.

✉ kevin.preissner@tu-braunschweig.de

☎ +49 531 391-9799

INTERNET

www.tu-braunschweig.de/elenia/forschung/labore/energiemanagementlabor



AUFGABEN UND LEISTUNGEN

- Erprobung von Steuerungsverfahren und Kommunikationsprotokollen
- Kombinierte Versuche mit Hardwaregeräten, Simulationsmodellen und Steuerungssystemen mit einer modularen Steuerungsumgebung (HiL)
- Energie- und Leistungsmessungen
- Steuerungs- und Auswertungstools für Speichereffizienz-Messungen
- Kompatibilitätstest zur technischen Bewertung des Betriebs von Batteriespeichersystemen mit Batteriewechselrichtern
- Validierung von Betriebsstrategien für Energiemanagementsysteme auf Gebäudeebene

Energiemanagementlabor

Forschung, Innovation und Praxiserfahrung für eine nachhaltige Energiezukunft

Das Energiemanagementlabor bietet viel Raum zur Untersuchung von innovativen Energiemanagementkonzepten für Nur-Strom-Haushalt- und Prosumer-Demonstratoren. Im Zentrum der Forschung stehen das Prosumer-Verhalten im Kontext der Elektromobilität, die Kopplung des Wärme- und Elektrizitätssektors, das Last- und Speichermanagement sowie neu entwickelte Zähl- und Messkonzepte und Kommunikationskonzepte mit Bezug zur Smart Meter Infrastruktur. Hierfür kann auf zahlreiche Geräte, wie beispielsweise diverse AC-Lasten, DC-Quellen, eine Ladeinfrastruktur mit Ladesäulen verschiedener Hersteller sowie ein Wärmepumpenteststand, bestehend aus einer Luft-Wasser-Wärmepumpe, einer Klimakammer und einem Heizkreislauf zurückgegriffen werden. Mithilfe einer Vielzahl an mobilen Messaufbauten können diverse energietechnisch relevante Größen aufgenommen, gespeichert und ausgewertet werden. Durch die leistungs- und datentechnische Kopplung des Energiemanagementlabors mit dem Netzdynamiklabor besteht zudem die Option von laborübergreifenden Messungen. Dies ermöglicht die Bearbeitung innovativer Projekte und neu aufkommender Forschungsfragen im Bereich der ganzheitlichen laborbasierten Forschung, wie beispielsweise die Auswirkungen eines Smart Building auf die Netzstabilität.

Seit der Eröffnung des Labors Ende 2018 wurden Prosumer-Demonstratoren in den Projekten NetProsum2030, Campus: blueMAP und flexess realisiert. Bis ins

Jahr 2025 wurde an den Projekten MELANI, KEMAL und SiNED gearbeitet. Aktuell wird im Projekt PICNIC an der Erprobung spannungsqualitätsverbessernder Regelungen gearbeitet.

Im Forschungsprojekt MELANI wurden Messverfahren und Zählerkonzepte zur Mehrfachnutzung von PV-Heimspeichersystemen entwickelt. Die Laborumgebung des Energiemanagementlabors wurde eingesetzt, um ein Abbild des entwickelten Konzepts zu evaluieren. Auch die für MELANI erstellten Betriebsstrategien für Energiemanagementsysteme auf Gebäudeebene konnten im Labor validiert werden.

Auch im Forschungsprojekt KEMAL (Kundenorientiertes Energiemanagement mit autonomer Lastregelung) wurden Energiemanagementsysteme untersucht. Hierbei standen jedoch die nutzbaren Potenziale in Kombination mit einem Smart-Meter-Gateway im Vordergrund. Das Projekt beschäftigte sich mit der Weiterentwicklung und Erprobung existierender Standards rund um das Smart-Meter-Gateway und betrachtete ganzheitlich das intelligente Messsystem. Schwerpunkt war hierbei die Entwicklung eines Home Energy Management Systems, welche die normgerechte Anbindung vollflexibler Prosumer an das intelligente Messsystem gewährleistete.

In SiNED wurde untersucht, wie sich temporäre Überspannungen durch asymmetrische Belastungen in Verteilnetzen mit vielen umrichterbasierten Erzeugungsanlagen auf die Schutzsysteme auswirken. Dabei wurde bewertet, inwieweit gesetzliche

Vorgaben die zulässige Asymmetrie und damit auch die Höhe der Überspannungen begrenzen.

Im Projekt PICNIC werden spannungsqualitätsverbessernde Regelungen auf dezentralen Einzelkomponenten wie PV-Wechselrichtern und DC-Ladesäulen implementiert und getestet. Ergänzend wird untersucht, wie sich diese Regelungen mit Prosumer-orientierten Heimenenergiemanagementstrategien vereinen lassen, die auf die Optimierung der Wirkleistungsflüsse ausgerichtet sind.

Neben dem Forschungsbereich profitiert auch der Lehrbetrieb in Form von zahlreichen studentischen Arbeiten, die in den Laboren durchgeführt werden können und den zusätzlich angebotenen Laborversuchen parallel zu den Vorlesungen.

Studierende können hier in Versuchen zu Themen wie dem Energiemanagement oder der Wärmepumpe Praxiserfahrungen im Labor sammeln und ihr theoretisch erlerntes Wissen anhand anschaulicher Praktika festigen.

Im Labor werden außerdem Kompatibilitätstest zur technischen Bewertung des Betriebs von diversen Batteriespeichern im Zusammenspiel mit Wechselrichtern durchgeführt. Darüber hinaus ermöglicht die umfangreiche Ausstattung des Energiemanagementlabors die Bearbeitung von Dienstleistungsprojekten im Kontext von Effizienzmessungen von PV-Speichersystemen nach Effizienzleitfaden und erweitert somit den Dienstleistungsbereich des Institutes.



MOBILE LADESÄULE IM LABOR

SMA EV CHARGER BUSINESS: Laden von Elektrofahrzeugen

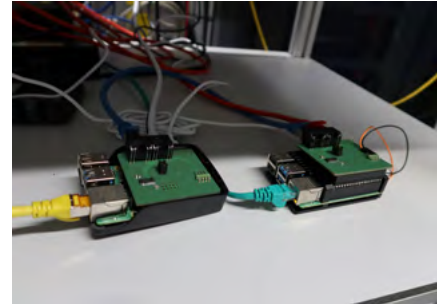
- Laden mit bis zu 2×11 kW oder 1×22 kW
- voll integrierte Elektromobilitätslösung auch für das Laden mit Solarstrom
- RFID und OCPP Schnittstelle
- Schutz vor Überlastung des Netzanschlusspunktes



ENERGIESPEICHER FÜR GEWERBE, INDUSTRIE
ODER MEHRFAMILIENHÄUSER

TESVOLT TS HV 70

- Lithiumspeicher (NMC)
- Dauerlade/-entladerate: 1C
- 8000 Vollzyklen (Garantie für 10 Jahre)
- Sicherste Zelltechnologie
- Hochvoltssystem



LEISTUNGSFÄHIGE EINPLATTEN-COMPUTER

Raspberry Pi 4 Model B

- 8 GB RAM, SSD-Karte als Festspeicher
- Nutzung im Projekt MELANI, um das entwickelte Energiemanagementsystem zu testen
- Entwicklung von CAN-Interface in Kooperation mit Physikalisch Technischen Bundesanstalt (PTB): Auslesen diverser Stromzähler in 1-sekündlicher Auflösung möglich → Messwerte werden zu effizienter Leistungsflusssteuerung im Energiemanagementsystem verarbeitet



ELEKTROMOBILITÄT AM ELENIA INSTITUT

e-Golf „emilia“

- Seit 2014 im Braunschweiger Verbundprojekt „emil“ im Einsatz
- Forschung in den Bereichen induktives Laden und Netzanbindung
- Laden mittels institutseigener Infrastruktur
- Reichweite von ca. 140 km ohne Ladestopp



KOMPATIBILITÄTSTEST ZUR TECHNISCHEN BEWERTUNG DES BETRIEBS VON
BATTERIESPEICHERN ANHAND DEFINIERTER SPEZIFIKATIONEN

Ziele der Tests:

- Kompatibilität von Batteriespeichersystemen mit Batterie-wechselrichtern feststellen
- Netzfernes und netzgebundenes Systemverhalten unter verschiedenen Betriebsszenarien analysieren (Normalbetrieb, Überlast- und Überladebedingungen)
- Bestätigung der Sicherheitsmaßnahmen bei der Erstinbetriebnahme sowie von Sicherheitsabschaltungen bei Auftreten von Fehlerfällen
- Überprüfung der korrekten Kommunikation zwischen Batteriespeicher und Wechselrichter
- Einschaltstromprüfung und DC-Ripple-Analyse

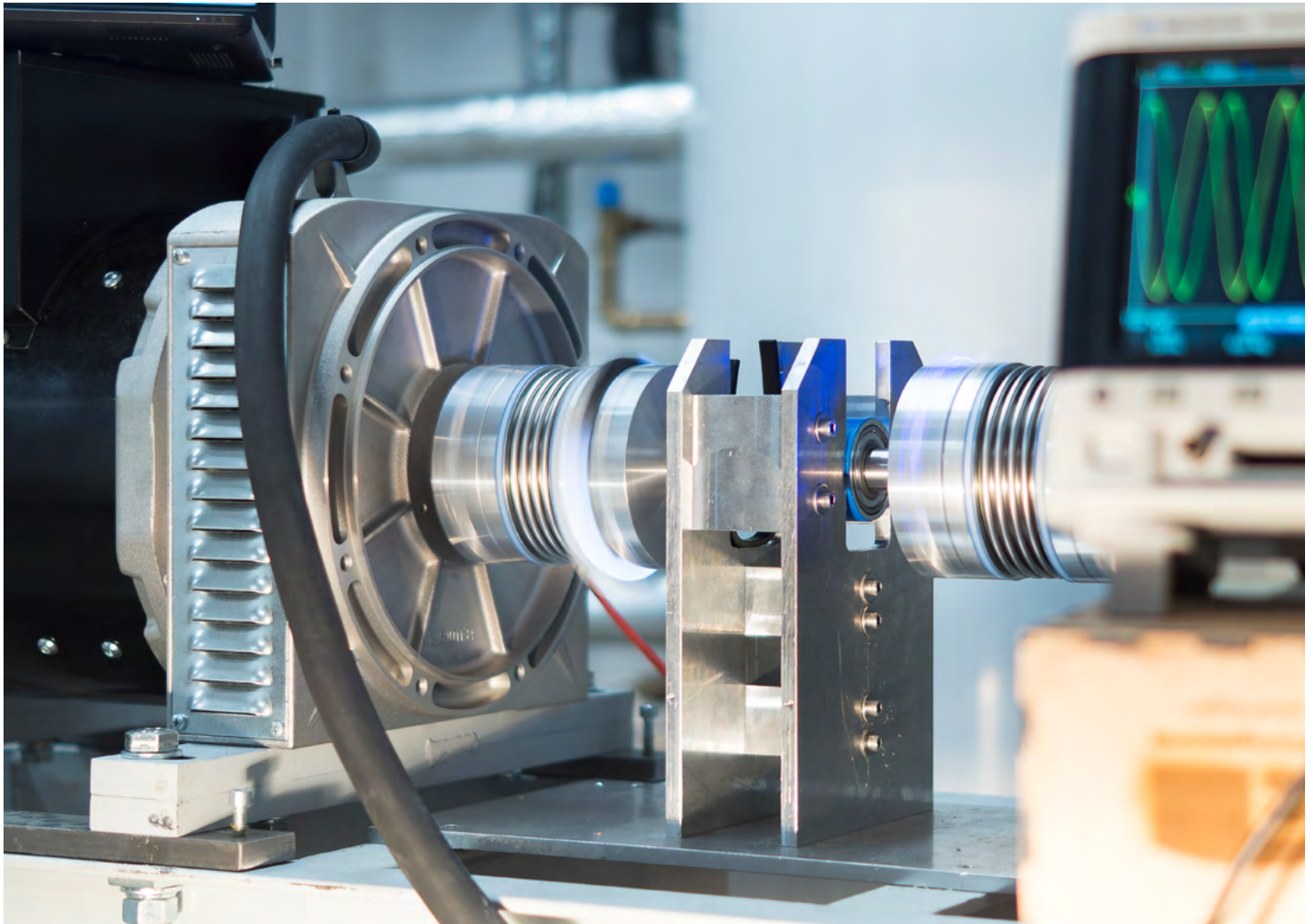


MESSCHRANK

- Verwendung im Forschungsprojekt MELANI und KEMAL zur Abbildung eines Gebäudenetzes
- Anschließen diverser elektronischer Lasten und DC-Quellen möglich
- Aufnahme energietechnisch relevanter Messgrößen durch integrierte Leistungsmessung



Netzdynamiklabor



KONTAKT

Frederik Tiedt, M.Sc.

✉ f.tiedt@tu-braunschweig.de

☎ +49 531 391-7708

Max Gand, M.Eng.

✉ max.gand@tu-braunschweig.de

☎ +49 531 391-7706

FORSCHUNGSTHEMEN

- Entwicklung und Tests neuartiger Regelungskonzepte von Stromrichtern zur Bereitstellung von systemstützenden Eigenschaften für das Verbundnetz
- Verhalten und Stabilität von netzbildenden Voltage-Controlled-Invertern (VCI) im Inselnetz- oder Netzparallelbetrieb
- Verhalten von Komponenten und stromrichtergekoppelten Erzeugungsanlagen bei Frequenz- und Spannungsänderungen in dynamischen Zeitbereichen
- Bereitstellung von konventioneller und schneller Primärregelleistung
- Überstrombegrenzung und Kurzschlussverhalten dezentraler Erzeugungsanlagen
- Anti-Islanding-Detection und Schwingkreistests bis zu 33 kVA nach DIN EN 62116
- Auswirkungen veränderlicher Spannungen auf Regelungen wie bspw. $Q(U)$ und $P(U)$
- Stromrichter-Prototyping auf Hard- und Softwareebene

Netzdynamiklabor

Netzstabilität in Zeiten stromrichterdominierter Netze – Auf Millisekunden kommt es an

Untersuchungsziele des Netzdynamiklabors

Im Netzdynamiklabor (NDL) wird zu aktuellen Herausforderungen der Integration erneuerbarer Energien in das Niederspannungsnetz geforscht. Schwerpunkt sind hochdynamische, transiente Vorgänge im Zeitbereich von Millisekunden bis wenigen Sekunden. Die Versuche konzentrieren sich auf den Übergang von klassischen, generatorbasierten Großkraftwerken zu dezentralen, stromrichterbasierten Anlagen, wie sie in der dezentralisierten Einspeisung aus erneuerbaren Energien zunehmend Anwendung finden.

Die abgegrenzte Versuchsumgebung ermöglicht, das Verhalten von Erzeugungsanlagen – mit besonderem Fokus auf leistungselektronische Charakteristika, Kommunikationsstrukturen und Regelalgorithmen – unter stark volatilen Netzbedingungen zu analysieren. Ziel ist es, kritische Netzsituationen, neuartige Stromrichterregelungen und potenzielle Wechselwirkungen zwischen konventionellen sowie neuartigen Anlagen als Grundlage für zukünftige Netzkonzepte fundiert zu bewerten.

Laborausstattung und Simulationsmethodik

Im Labor kommen flexibel anzuordnende AC- und DC- Spannungsquellen, frei parametrierbare Netznachbildungen, Lasten, marktübliche Wechselrichter sowie frei parametrierbare Vollumrichterprototypen zum Einsatz. Ergänzt wird diese Infrastruktur durch zwei rechenstarke, integrierte OPAL 5705 Echtzeitsimulatoren, die hybride Versuchsaufbauten aus Simulation und Hardware in Echtzeit ermöglicht.

Bei dem hierdurch entstehenden Power-Hardware-In-The-Loop (PHIL)-System werden analoge Messgrößen wie Spannung und Strom in den Simulator eingelesen, unter Berücksichtigung verschiedener Simulationsparameter verrechnet und als Stellgrößen zurückgeführt. Durch Simulationsschrittweiten von unter $50\mu\text{s}$ kann der Simulator Komponenten wie Netze mit

unterschiedlicher Trägheit, beliebige Netztopologien, aber auch innovative Stromrichterregelungen flexibel abbilden, sodass auch kritische Fehlerfälle in spannungsführenden Elementen simuliert und im Labor physikalisch nachgebildet werden können.

Diese Vorgehensweise ermöglicht einen einfachen Zugang zu schnell adaptierbaren Versuchsszenarien und trägt zur Gewährleistung der Personensicherheit und des Geräteschutzes bei – Ein Vorteil gegenüber rein hardwarebasierten Aufbauten.

Forschung am Beispiel: Untersuchung zur Netzstützung und Inselnetzerkennung

Im vergangenen Jahr wurde eine im Auftrag des VDE|FNN vergebene Laborstudie erfolgreich durchgeführt. Diese hatte das Ziel, etwaige Auswirkungen der netzsicherheitsbasierten Primärregelung, ein aktuell auch für die TAR4105 diskutiertes hochdynamisches Frequenzstützungsverfahren, auf die Inselnetzerkennung von Wechselrichtern in der Niederspannung zu untersuchen.

Nach Einbettung marktüblicher Wechselrichter in hierfür konzipierte Niederspannungs-Inselnetzversuchsstände, millisekundengenaue Anpassung des Wechselrichterhaltens auf die neue Primärregelung bei Frequenzsprüngen und anschließenden ausgiebigen Testreihen in denen die Prüflinge über 2.700 Inselungen überstehen mussten, konnte die prinzipielle Verträglichkeit von Inselnetzerkennung und schneller Netzstützung bei den Prüflingen gezeigt werden. Die Ergebnisse der Studie werden vom FNN unter folgender Website veröffentlicht: <https://t1p.de/FNN-IDV>.

Neues Netzdynamiklabor und erweiterte Prüfkapazitäten

Mit der stetigen Erweiterung der Laborkapazitäten durch einen hochdynamischen Linearverstärker von Spitzenberger & Spieß und der Erhöhung des elektrischen Leistungsvermögens und somit der Möglichkeit Prüflinge in der Leistungsklasse von 100 kW zu testen, steigt auch der Platz-

bedarf. Aus diesem Grund wird ein neues Netzdynamiklabor im Raum 026 der Schleinitzstraße 23 errichtet. Das neue NDL soll neben dem Linearverstärker, sowie einen Vollumrichter und zwei Schränke der automatisierten Netznachbildung in der Grundausstattung aufnehmen.

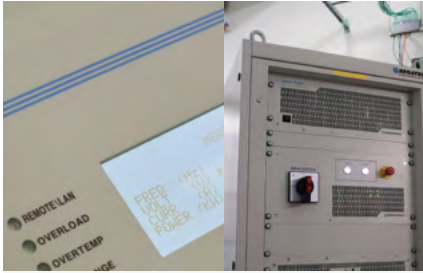
Andere Geräte, wie Prototypenstromrichter, können temporär in den Versuchsaufbau integriert werden. Um auch komplexe Versuchsaufbauten realisieren zu können, wird es möglich sein, Geräte in diesem Raum über Kopplungsleitungen mit Geräten in den anderen Laborräumen der elenia Energy Labs zu verbinden. Um die erhöhten thermischen Lasten abführen zu können, wurde das neue NDL mit Klimageräten mit 25 kW Leistung ausgestattet.

Zusammenfassung und Ausblick auf weitere Arbeiten

Die Kombination aus flexiblen Laborquellen, verschiedenen Stromrichtern sowie präziser Netz- und Anlagensimulation über integrierte Echtzeitsimulatoren ermöglicht es, zukünftige Betriebsszenarien im Niederspannungsnetz realitätsnah zu untersuchen. Durch die Nachbildung von kritischen Netzsituationen können Wechselwirkungen zwischen stromrichterbasierten Erzeugungsanlagen und konventionellen Generatoren frühzeitig erkannt und Regelverfahren angepasst werden.

So belegen beispielsweise die im Rahmen der VDE|FNN-Studie durchgeführten Untersuchungen, dass auch unter hochdynamischen Netzbedingungen eine hinreichen schnelle und präzise Regelung von Wechselrichtern möglich ist.

Mit den erweiterten Prüfkapazitäten im neu konzipierten Netzdynamiklabor wird das Versorgungsnetz künftig noch flexibler auf die Anforderungen der Energiewende vorbereitet. Die systematische Erprobung und Verifizierung von Szenarien leistet damit einen wichtigen Beitrag zur Optimierung der Netzstabilität in einer zukünftigen, dezentralisierten und stark dynamischen Energieinfrastruktur.



NETZSIMULATOR AMETEK MX-45

Voll rückspisefähige Netzsimulatoren zur Nachbildung verschiedener Netzzustände mit variablen Netzparametern:

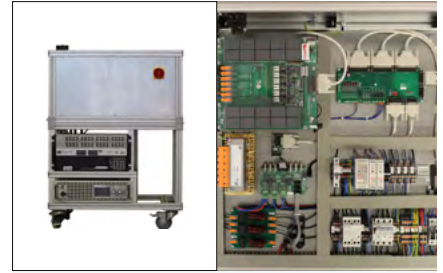
- 45 und 30 kVA Anschlussleistung
- Spannungen bis $305 V_{RMS}$ und $800 VDC$
- Ströme bis $50 A_{RMS}$
- Frequenzbereich 16–1000 Hz
- 4-adriger Anschluss
- (Unsymmetrische Belastung möglich)
- Integriertes Messsystem
- Analoge Schnittstellen zur präzisen Ansteuerung einzelner Phasen im Verstärkerbetrieb
- Betrieb als RLC-Last
- Flankenanstiegszeiten von bis zu $4 V/\mu s$ zur Untersuchung transien-ter Ereignisse



OPAL 5707 REAL-TIME-SIMULATOREN (2x)

Echtzeitsimulatoren mit hoher Rechenleistung für Power-Hardware-In-The-Loop Anwendungen und verzögerungsfreie Laboransteuerung:

- Analoge/Digitale Ein- und Ausgänge, sowie LWL zur Kopplung verschiedener Laborkomponenten
- Kommunikationsschnittstellen über Protokolle wie MODBUS, EtherNet, EtherCAT, CAN, Time-Stamp, GOOSE, etc.
- FPGA-Technik zur schnellen Befehlsverarbeitung
- Arbeiten in der Entwicklungsumgebung von MATLAB/Simulink
- Echtzeitfähige Simulationen von Hardware und elektrischen Netzen mit Simulationsschrittweiten unter $50 \mu s$



ELENA PROTOTYPENWECHSELRICHTER 3 PHASIG 10 KVA:

Eigens konzipierter und entwickelter Laborwechselrichter als hard- und softwareoffene Evaluationsplattform mit perspektivischer Nachbildung volatilen Primärenergiequellenverhaltens:

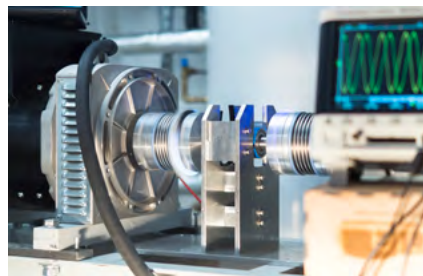
- B6-Brückentopologie
- Zwischenkreisspannung $U_{DC} = 750 - 800 V$
- Schaltfrequenz $f_{sw} = 20 kHz$
- Reglerzyklus $T_R = 50 \mu s$
- Entkoppelte Wirk-/Blindstromregelung
- Perspektivisch: Implementierung einer netzbildenden VCI-Regelung + Dynamische Regelung der Primärenergie-seite in Echtzeit



TRIPHASE – VOLL PROGRAMMIERBARE UMRICHTER

Frei programmierbare Vollumrichter zur Implementierung und Untersuchung eigener Regelungsmodelle:

- Zwei Vollumrichter mit jeweils 15 kVA Nennleistung
- 1x3-adriger Anschluss, gekoppelter Gleich- und Umrichter, als Batteriesimulator verwendbar
- 1x4-adriger Anschluss, unsymmetrischer Betrieb, Nullsystemeinprägung
- Ansteuerung und Parametrierung über MAT-LAB/Simulink



30 KW GEKOPPELTER MASCHINENSATZ (ASYNCHRONMASCHINE UND SYNCHRONMASCHINE)

Gekoppelter Maschinensatz, bestehend aus Asynchron- und Synchronmaschine mit frei parametrierbarem Umrichter:

- 30 kW Anschlussleistung bei 1500 rpm nominaler Drehzahl und 150 Nm Nennmoment
- Synchronisierungseinheit zur Anbindung von externen Quellen an den Maschinensatzverbund
- Generatorischer und motorischer Betrieb möglich
- Ansteuerung über ETHERNET fähige SPSc



SCHRANK 1 DER AUTOMATISIERTEN NETZNACHBILDUNG

Frei programmierbare Netznachbildung zur Nachbildung von Niederspannungsleitungen und Netzknoten:

- Modular aus 4 Schränken aufgebaut
- Maximale Stromtragfähigkeit 125 A
- Nachbildung von ca. 1500 m NAYY $4 \times 150 mm^2$
- Impedanz automatisiert unter Last schaltbar
- Messtellen vor und hinter der Impedanz in jedem Schrank
- Verschiedene Abgänge am Ausgang jedes Schrankes zur Nachbildung von Netzknotenpunkten



Mechanische & Elektrotechnische Werkstatt



KONTAKT MECHANISCHE WERKSTATT

Kerstin Rach

Meisterin im Maschinenbaumechaniker-Handwerk,
Werkstattleiterin und Ausbilderin

✉ k.rach@tu-braunschweig.de

☎ +49 531 391-7747

INTERNET

[www.tu-braunschweig.de/elenia/team/
mechanische-werkstatt](http://www.tu-braunschweig.de/elenia/team/mechanische-werkstatt)



KONTAKT ELEKTROTECHNISCHE WERKSTATT

Christian Ryll

Staatl. gepr. Techniker Fachrichtung Elektrotechnik,
Leitung Elektrotechnische Werkstatt

✉ c.ryll@tu-braunschweig.de

☎ +49 531 391-9731

INTERNET

[www.tu-braunschweig.de/elenia/team/
elektrotechnische-werkstatt](http://www.tu-braunschweig.de/elenia/team/elektrotechnische-werkstatt)



Mechanische Werkstatt

Die mechanische Werkstatt unterstützt die wissenschaftlichen Mitarbeitenden und Studierenden in der Anfertigung von Bauteilen und Anlagen für Lehre, Studien- und Abschlussarbeiten sowie Forschungsprojekten. In enger Zusammenarbeit mit den Mitarbeitenden/Studierenden werden Problemlösungen erarbeitet und auf die Umsetzbarkeit mit den vorhandenen Maschinen geprüft. Neben Drehmaschinen und CNC-Fräsmaschinen, zur spanenden Fertigung, stehen mehrere 3D-Drucker (FDM/SLA) für die additive Fertigung zur Verfügung.



Abbildung 1: Kupfer-Schaltkontakte



Abbildung 2: HVDC Offshore Plattform



Abbildung 3: 3D-Druck

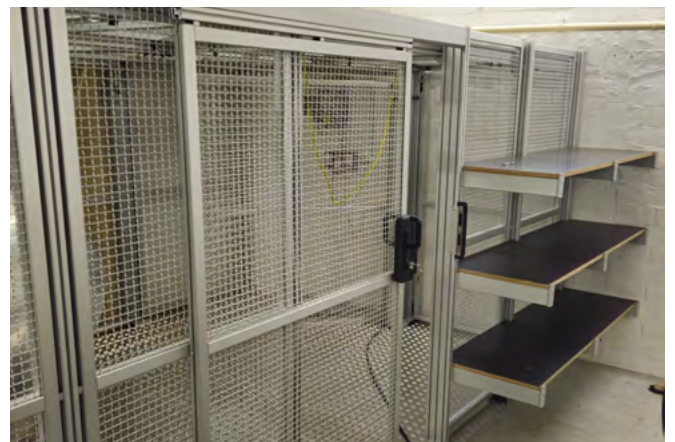


Abbildung 4: Laboreinhausung



Abbildung 5: Schaltkammer mit Abzug für Materialuntersuchungen



Abbildung 6: Prosumer-Haus



Abbildung 7: Hochspannungsseitiger Anschluss eines 800 kV Transformators

Elektrotechnische Werkstatt

Laborverteilung NDL R026

Die für das zukünftige Netzdynamiklabor angefertigte Verteilung ist auf 250A Gesamtbemessungsstrom ausgelegt. Über zwölf Taster in der Verteilungstür können jeweils separat voneinander zwölf Ausgänge ein- und ausgeschaltet werden. Diese Ausgänge liegen auf Anschlussklemmen, auf welche man die jeweiligen Verbraucher auflegen kann, sowie zwei Steckfeldern, an denen flexibel weitere Kleinverteiler angeschlossen werden können. Geschaltet werden die zwölf Ausgänge jeweils über ein Sicherheitsschutz mit Selbsthaltung. Abgesichert wurden diese mit Leitungsschutzschaltern, Fehlerstromschutzschaltern, und NH-Sicherungstrennern 63A/160A, um bei hoher Stromaufnahme über einen längeren Zeitraum die Funktion und ein schnelles Wiedereinschalten im Fehlerfall zu gewährleisten. Auch ist ein Smart Energy Meter verbaut, welches über Strommesswandler den Gesamtverbrauch über die Zuleitung misst. Bei der Montage wurde darauf ge-

achtet, dass die Anordnung und Zuordnung der Bauteile zueinander symmetrisch und gut nachvollziehbar sind. So ist der erste sichtbare Schalter für die erste sichtbare Klemme und auch das erste sichtbare Schütz. Ein eventueller Tausch von Bauteilen und auch die Nachvollziehbarkeit der gesamten Anlage ist somit einfach und schnell gegeben.

Laborkopplung NDL

Der Kopplungsschrank verfügt über fünf Schalter, welche ebenfalls in der Tür der Verteilung verbaut sind. Vier dieser Schalter schalten Schütze, mit jeweils 3×63A und 1×150A Bemessungsstrom. Der Schrank dient hierbei nur als Kopplung und besitzt keinen eigenen Netzanschluss. Er verbindet somit die Geräte im zukünftigen NDL mit einem anderen Gerät oder einem Festanschluss in einem anderen Labor. Geplant ist hierbei, dass sich der Erzeuger sowohl im NDL als auch in einem anderen Labor befinden kann. Die Anschlüsse im NDL sind

über Kupplungen steckbar. Die Abgänge in das andere Labor sind Festanschlüsse, welche direkt auf die Schütze aufgelegt sind. Zusätzlich kann man mit dem fünften Schalter zwölf Relais mit jeweils zwei Schließer-Kontakten schalten, welche parallel geschaltet und mit Feinsicherungen abgesichert sind. Dadurch hat man die Möglichkeit, nicht nur Lasten zu schalten sondern auch Steuersignale. Es wurde darauf geachtet, dass die Verdrahtungswege kurz sind und der Anschluss der Geräte oder der Wechsel der Bauteile einfach und schnell möglich ist.

Automatisierung eines Stelltransformators

Für zahlreiche Versuchsaufbauten im Bereich der Hochspannungsversuche des Instituts wird ein Stelltransformator verwendet, der eine stufenlose Einstellung der Netzspannung im Bereich von 0V bis 230V zur primärseitigen Speisung der Hochspannungstransformatoren ermöglicht.



Abbildung 1: Laborverteiler mit abgenommenem Berührungsschutz



Abbildung 2: Phasenverteilung über Sammelschienen



Abbildung 3: Stelltransformator mit Absolutwertgeber



Abbildung 4: Schaltschrank von innen



Abbildung 5: Konventionelle Bedienoberfläche

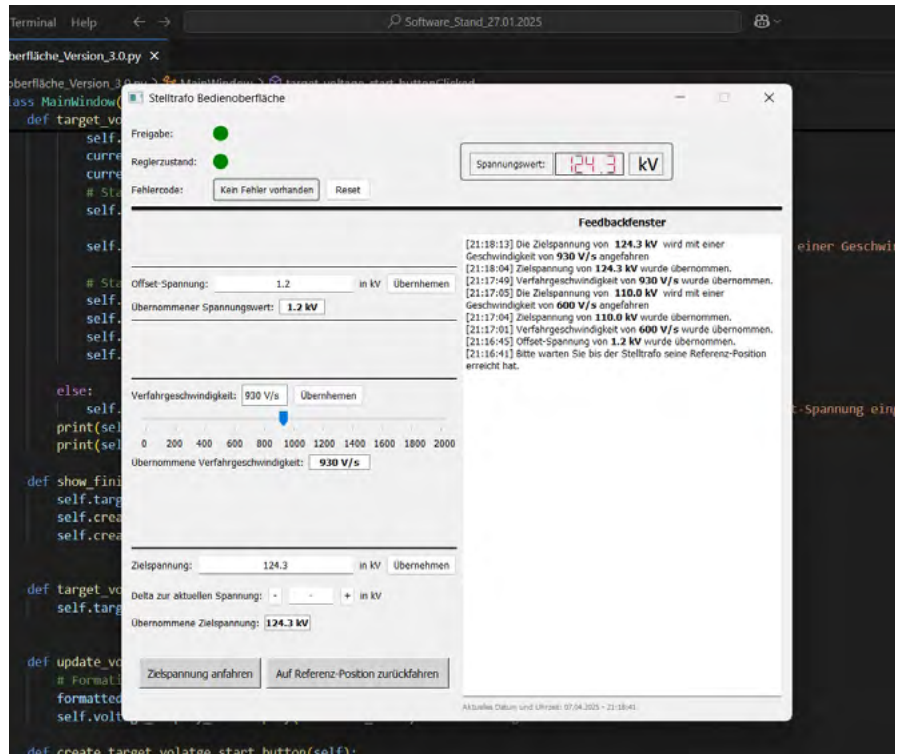


Abbildung 6: Grafische Bedienoberfläche

Die Spannungseinstellung erfolgte bisher manuell über ein Handrad am Trafo zur Positionierung des Abnehmers.

Über eine digitale Motorsteuerung und eine eigens entwickelte grafische Bedienoberfläche erfolgt künftig die Steuerung über Ethernet. Viele Parameter, wie z.B. die Einstellung der stufenlosen Verfahrensgeschwindigkeit des Abnehmers oder das genaue Anfahren bestimmter Spannungswerte mit definierten Geschwindigkeiten, sowie das Einstellen bestimmter Start- und Stoppwerte sind möglich.

Dadurch wird das Einstellen von Spannungen für die Messungen vereinfacht und gibt zusätzlich die Möglichkeit gewisse Spannungsprofile und -stufen abzufahren. Alle Spannungsprofile können jederzeit den Erfordernissen angepasst werden. So ist es möglich z.B. für Serienprüfungen immer wieder gleiche Profile abzufahren um eine

genaue Reproduzierbarkeit ohne große Prüfabweichungen zu gewährleisten.

Ebenfalls wurde eine konventionelle Bedienoberfläche über Taster realisiert, mit denen eine Bedienung der wichtigsten Funktionen auch ohne Computer möglich ist. Die Steuerung ist im Sicherheitskreis der Hochspannungshalle integriert. So werden alle vorhandenen Türkontaktschalter, Verriegelungen und Not-Aus Taster, sowie Signaleinrichtungen mit eingebunden. Die Steuerung verfügt aber auch über ein eigenes Sicherheitsrelais, welches einfach in andere schon vorhandene Sicherheitskreise implementiert werden kann.

Die Oberfläche zur intuitiven Bedienung des Stelltrafos wurde mit dem Qt-Framework entwickelt. Die Kommunikation mit dem Antrieb drye D1 erfolgt über eine Ethernet-Verbindung per TCP/IP unter Verwendung des Modbus-TCP-Protokolls.

Eine Python-Anwendung übernimmt dabei durch Senden und Empfangen der Modbus-Telegramme die Steuerung des Reglers. Die eingegebenen Werte werden in Zielposition und Verfahrensgeschwindigkeit umgerechnet und automatisch angefahren. Eine besondere Herausforderung bei der Umsetzung bestand darin, eine komplexe und präzise universell einsetzbare Steuerung zu entwickeln, die es ermöglicht unterschiedliche Stelltransformatoren, teils älterer Baujahre aus dem Bestand des Instituts steuern zu können.

In der Entwicklungsphase traten daher immer wieder kleinere, unvorhersehbare Probleme auf oder es wurden neue Anforderungen gestellt, die kreative und flexible Lösungsansätze notwendig machten.

Zukünftig soll die Steuerung eine solide Grundlage für die Automatisierung und Vereinfachung von Prüfabläufen bieten.



IT-Abteilung des elenia



KONTAKT

Fabian Scholz

✉ f.scholz@tu-braunschweig.de

Lukas Oppermann

✉ lukas.oppermann@tu-braunschweig.de

INTERNET

[www.tu-braunschweig.de/elenia/team/
it-administration](http://www.tu-braunschweig.de/elenia/team/it-administration)



AUFGABEN UND LEISTUNGEN

- Beschaffung, Wartung und Pflege der Server und Clients
- Bereitstellung von Arbeitsplätzen und Software
- Lizenzbeschaffung und -verwaltung
- Betreuung und Schulung von Mitarbeitenden und Studierenden (Service Desk)
- Analyse und Definition der IT-Systeme nach DSGVO
- Ständige Überwachung und Wartung der Instituts- und Forschungsnetzwerke
- Aufbau und Wartung spezieller projektbezogener IT-Systeme
- Administration von Instituts- und Projektwebseiten
- IT-Systemhärtung in allen Netzwerksegmenten

Die Informationstechnik im elenia

elenia-IT: Erfolge und Perspektiven

Vereinheitlichung und Umstieg auf Windows 11 im CIP-Pool

In diesem Jahr haben wir in der IT-Abteilung des elenia eine Reihe von Projekten durchgeführt, um die IT-Infrastruktur zu optimieren. Eines dieser Projekte widmete sich dem CIP-Pool für unsere Studierenden und Lehrkräfte. Hier lag unser Fokus auf der Umstellung und Vereinheitlichung des Rechnerangebots, sowie dem Upgrade von Windows 10 auf das neue Betriebssystem Windows 11.

Um ein modernes und effizientes Arbeitsumfeld zu schaffen, wurden ältere Computermodelle durch aktuellere ersetzt. Dabei profitieren die Benutzer vor allem von größeren Festplatten, mehr Arbeitsspeicher und leistungsfähigeren Prozessoren.

Anbindung der elenia Workstation im H2-Terminal per VPN

Das elenia ist am H2 Terminal beteiligt. Mit dessen Fertigstellung begann die Planung, Erstellung und Konfiguration eines eigenen Virtual Private Networks (VPN) zur sicheren Anbindung unserer Workstation am neuen Forschungsstandort.

Ziel war es, eine stabile und sichere Verbindung zwischen unserer internen IT-Infrastruktur und der Workstation bei unserem Partner zu gewährleisten. Durch die Implementierung des VPNs konnten wir die Kommunikation zwischen den Standorten optimieren. Zusätzlich wird dadurch sichergestellt, dass alle Daten verschlüsselt übertragen werden und die Integrität der Systeme gewahrt bleibt.

Zu den zentralen Aufgaben gehörten die sorgfältige Auswahl der geeigneten VPN-

Technologie, die Planung der Netzwerktopologie, sowie die Konfiguration von Sicherheitsmechanismen wie Firewalls und Zugriffskontrollen.

Besonders wichtig war, die Lösung an die spezifischen Anforderungen des Partnerstandorts und den Nutzenden anzupassen. Zusätzlich soll eine hohe Verfügbarkeit und Performance gewährleistet werden. Die erfolgreiche Implementierung des VPNs hat nicht nur die Zusammenarbeit mit dem Partnerstandort H2 Terminal deutlich vereinfacht, sondern auch die Grundlage für eine zukunftsichere, skalierbare Netzwerkstruktur geschaffen, die in weiteren Vorhaben genutzt werden kann.

Erstellung und Planung der Netzwerkinfrastruktur für das neue NDL

Ein weiteres Projekt für die Verbesserung der digitalen Infrastruktur befindet sich noch im Aufbau. Es umfasst die Planung und Errichtung einer neuen Netzwerkinfrastruktur für das neue Netzdynamiklabor.

Neben der Installation von Switchen, Patchpanels und Datendosen, beinhaltet das Projekt auch die Konfiguration des Netzwerks. So soll eine robuste und leistungsfähige Netzwerkverbindung im neuen Netzdynamiklabor gewährleistet werden. Im Zuge dieser Umstellung wird ein neues internes Netzwerk aufgebaut. Diese verbindet die einzelnen Labore untereinander, um die Geräte standortunabhängig überwachen zu können. Unsere sorgfältige Arbeit an diesem Projekt verdeutlicht unser Engagement, innovative Technologien optimal zu nutzen und die digitale Infrastruktur des Instituts fortlaufend zu verbessern.

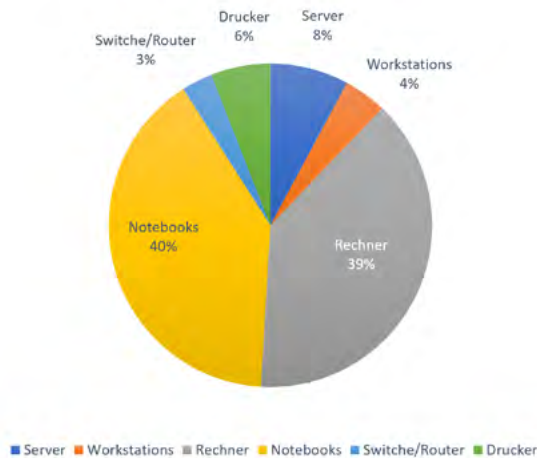
Poollösung – Zusätzliche IT-Services

Im vergangenen Jahr haben wir unsere IT-Dienstleistungen auf das Institut für Hochfrequenztechnik ausgeweitet. Das Institut umfasst vier Professuren und zwei Standorte, was die Verwaltung der IT-Landschaft wesentlich komplexer werden lässt.

Dies ist eine bedeutende Erweiterung. Sie basiert auf dem Konzept der Poollösung, welches wir vor einigen Jahren eingeführt haben. Dieses Modell sieht vor, die Arbeitskräfte in Fachabteilungen zu bündeln. Die so geschaffenen Synergien sollen allen Instituten optimale IT-Services bieten.

Unsere erste Aufgabe war es, den dringenden Handlungsbedarf bei der Instituts-IT zu adressieren. Bei der Übernahme stellten wir fest, dass es an entscheidenden Stellen an Systemumstellungen fehlte. Ungeachtet dieser Herausforderungen, haben wir uns darauf konzentriert diese Situation schrittweise zu verbessern und den Instituten eine robuste und sichere IT-Umgebung zu bieten. Als Teil dieser Bemühungen planen wir die Einführung neuer Sicherheitsrichtlinien. Zusätzlich erarbeiten wir derzeit ein neues Netzwerkkonzept, um die informationstechnische Arbeitsumgebung zu verbessern und übersichtlicher zu gestalten. Angesichts der zunehmenden Bedrohung durch Cyberkriminalität und Datenschutzverletzungen ist es unerlässlich, dass die IT-Infrastrukturen unserer Institute nach den höchsten Sicherheitsstandards betrieben werden. Dies ist ein fortlaufender Prozess, bei dem wir eng mit dem Institut zusammenarbeiten. Nur so können wir die individuellen Bedürfnisse verstehen und den benötigten Service liefern.

Verteilung Hardware



HARDWARE VERTEILUNG 2025
(DATENERHEBUNG AM: 11.04.2025)

- 33 Serversysteme (Physisch und Virtuell, Windows und Linux)
- 163 Rechner
- 168 Notebooks
- 18 Leistungsstarke Workstations
- 25 Institutsdrucker
- 13 Router und Switche

Unsere Arbeit an drei Instituten und dem Lehrstuhl MEES ist ein klares Beispiel dafür, wie das Modell der Poollösung erfolgreich umgesetzt werden kann. Dies kommt den Instituten innerhalb der Fakultät 5 zugute. So wird sichtbar, dass wir IT-Dienstleistungen effizient, sicher und qualitativ hochwertig umsetzen.

Härtung und Umsetzung neuer Sicherheitsrichtlinien

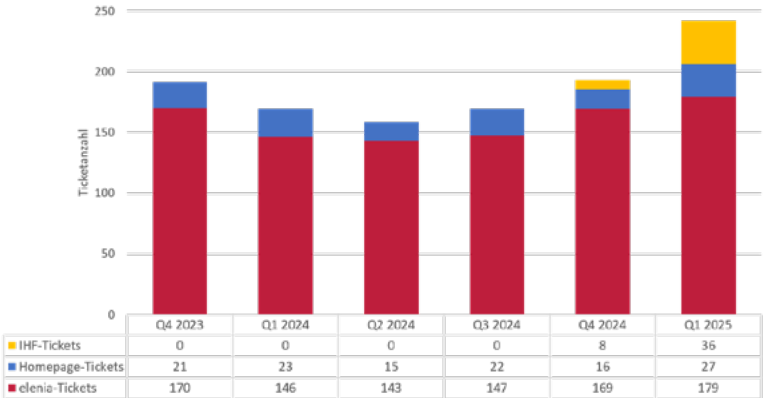
Ein besonders wichtiger Aspekt unserer Arbeit ist die stetige Härtung unserer IT-Systeme und die Umsetzung der Richtlinien des Chief Information Security Officer (CISO) der Universität.

Nach den Richtlinien des CISO der Universität werden regelmäßige Überprüfungen aller Institutsnetzwerke auf potenzielle Schwachstellen durchgeführt. Diese Überprüfungen dienen als Ausgangspunkt für die durchzuführenden Härtungsmaßnahmen, um unsere Netzwerke widerstandsfähiger gegen Cyberangriffe zu machen.

Zu den weiteren Verantwortlichkeiten des CISO gehört die Überwachung der Einhaltung von Sicherheitsbestimmungen und -standards. Dies umfasst unter anderem Datenschutzbestimmungen und den ordnungsgemäßen Umgang mit sensiblen Informationen. Diese Verantwortlichkeiten haben wir in unsere Arbeit integriert.

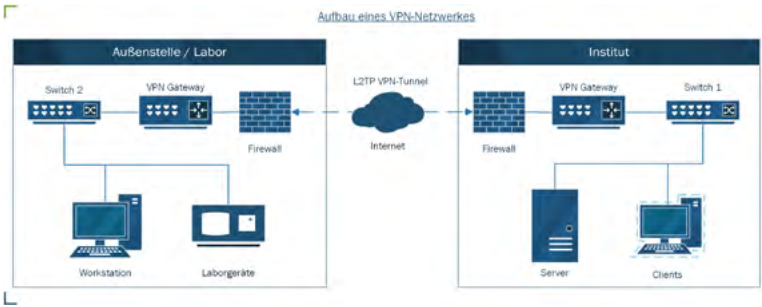
Unsere Arbeit im Bereich der IT-Sicherheit ist kontinuierlich. Wir sind davon überzeugt, dass wir durch die strikte Umsetzung der CISO-Richtlinien die Sicherheit unserer Institutsnetzwerke verbessern und ein sicheres digitales Umfeld für unsere Mitarbeiter und Studierenden schaffen können.

ERSTELLTE IT-SUPPORT TICKETS



ERSTELLTE IT-SUPPORT TICKETS

- Zeitraum: 01.10.2023 – 31.03.2025



AUFBAU EINES VPN-NETZWERKES

- Einblick: Beispiel einer VPN-Anbindung externer Laboreinrichtungen



Lehre



Lehrveranstaltungen	150
Studentische Arbeiten 2024	154
Studentische Arbeiten 2025	160

Lehrveranstaltungen

Vorlesungen: Arbeitsgruppe Energietechnologien

Vorlesung	Inhalt	Dozent
Elektrische Energieanlagen II	Wirkungsweise von elektrischen Energieanlagen, Grundsaltungen von Schalt- und Umspannstationen, Funktionsweisen von Schaltgeräten, Aufbau und Ersatzschaltung von Freileitungen, Funktionsweise von Erdungsanlagen, Aufbau des Selektivschutzes in Netzen	Dr.-Ing. Dirk Bösche
Aufbau und Funktion von Speichersystemen	Ladeinfrastruktur, Speicherkenngrößen, Systemauslegung, Speichertechnologien, Doppelschichtkondensator, Energiespeicherung in Form von Wasserstoff, Aufbau und Funktionsweise von Lithium-Ionen-Batteriespeichern, Batteriealterung und -diagnostik, Recycling	Dr.-Ing. Frank Lienesch
Numerische Berechnungsverfahren	Lösung symmetrisch-definiten Gleichungssysteme, Numerische Lösung von Differentialgleichungssystemen 1. Ordnung, Numerische Lösung partieller Differentialgleichungen 2. Ordnung, Differenzenverfahren, Anwendung von Simulationsprogrammen	Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat
High Voltage Direct Current Transmission Technology	Introduction to HVDC transmission systems, Operation of LCC and VSC based HVDC systems, Main components of HVDC converter stations, Interaction between AC and DC systems, Basic principles of modeling, analysis and control of dynamic systems	Dr.-Ing. Nasser Hemdan
High Voltage Test- and Measurement Systems	Fundamental knowledge of High-Voltage and High-Current tests, Fundamental analysis of High-Voltage and High-Current test and measurement circuits, Quality assessment, Evaluation and documentation of test performance for High-Voltage components	Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat
Rechenmethoden der Elektrotechnik B	Nichtlineare Gleichungen, Folgen und Reihen, Extremwerte, Integralrechnung, Hauptsatz der Differential- und Integralrechnung, Taylorreihen, Fourierreihen, partielle Ableitungen, Kurven und Flächen, Vektorfelder, Transformation, Integralsätze	Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat
Hochspannungstechnik I	Hochspannungsnetze, Überspannungen, Isoliersysteme, Gasentladungen, Isolierstoffe, Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung	Dr.-Ing. Michael Hilbert
Electric Power Systems Engineering	Fundamental knowledge of power systems, Formulate research problems, Select adequate abstraction level, Use scientific theories and model concepts, Analyze social, economic and cultural consequences, Apply Systems Engineering for system design	Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat; Dr.-Ing. Melanie Hoffmann

Vorlesung	Inhalt	Dozent
Aufbau und Berechnung von Gleichstromsystemen	Berechnung und Auslegung von Gleichstromnetzen, Betrieb von Gleichstromnetzen, Fehlerdetektion und -ortung, Anlagentechnik, Komponenten zur Stromerzeugung, Verteilung und Speicherung, Industrienetze, Inselnetze, Bordnetze	Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat; Prof. Dr.-Ing. Michael Terörde
Rechenmethoden für Elektrotechnik A	Gleichungen und Ungleichungen, Reelle und komplexe Zahlen, Vektorräume, Norm, Basis, lineare Abbildungen und Matrizen, lineare Gleichungssysteme, Projektion, Determinanten, Eigenwerte, Eigenvektoren, gewöhnliche Differentialgleichungen	Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat
Technologien der Übertragungsnetze	Grundlagen der Übertragungsnetze: Komponenten, Betriebsweisen, Herausforderungen; Berechnung von Übertragungsnetzen: Freileitungen, Kabel, Synchrongeneratoren, Transformatoren; Grundsätzliche Technologien der Hochspannungsgleichstromübertragung	Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat; Dr.-Ing. Christian Schulz

Vorlesungen: Arbeitsgruppe Energiesysteme

Vorlesung	Inhalt	Dozent
Grundlagen der elektrischen Energietechnik Teil 1: Hochspannungstechnik und Energieübertragung	Einführung in die Grundlagen der elektrischen Energieübertragung und -verteilung. Grundlagen und Berechnung von Drehstromsystemen, Transformatoren und Synchrongeneratoren	Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel; Prof. Dr.-Ing. Markus Henke; Prof. Dr.-Ing. Regine Mallwitz
Nachhaltige Energiesysteme	Großkraftwerke, Solartechnik, Offshore-Windparks, Wasserkraft, Geothermie, Biomasse, Wasserstoff, Energieverteilung, Systems Engineering, Industrie 4.0, DC-Industrie, Netzintegration erneuerbare Energien, Elektromobilität, Batteriespeicher, Sektorenkopplung	Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel; Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat
Technologien der Verteilungsnetze	Rolle der Verteilungsnetze in der Energieversorgung, Netzstrukturen, Betriebsmittel (Kabel, Freileitungen, Transformatoren, Schaltanlagen), Schutzkonzepte, Systemdienstleistungen, Netzentgelte, zukünftige Entwicklungen im Verteilungsnetz (Smart + X)	Dr.-Ing. Johannes Schmiesing
Elektrische Bahnen	Einführung in Schienenfahrzeugtechnik, Bahnstromsysteme national und international, Antriebe für elektrische Bahnen, Bremsen, Hilfsbetriebe, Signal- und Sicherungssysteme, Zukünftige Entwicklungen, Berührungslose Energieübertragung, Elektrische Straßenbussysteme	Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel
Regenerative Energietechnik	Grundlagen des Aufbaus des deutschen und europäischen Stromversorgungssystems und deren Komponenten (Freileitungen, Kabel und Transformatoren), Technische Grundlagen des Netzbetriebes durch Netzbetreiber und deren Umgang mit Systemdienstleistungen	Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel

Vorlesung	Inhalt	Dozent
Elektrische Anlagen und Netze	Einführung in die elektrische Energieversorgung, elektrische Betriebsmittel wie Synchronmaschinen, Leistungsfluss- und symmetrische wie unsymmetrische Kurzschlussrechnungen, Stabilität, Sternpunktbehandlung, Schutzmaßnahmen	Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel
Elektrische Ausrüstung von Schienenfahrzeugen	Elektrische Traktion, Bremsen, Hilfsbetriebe, Signal- und Sicherungssysteme, Leittechnik auf Schienenfahrzeugen, Fahrgastinformation und Multimedia, Ausgeführte Fahrzeuge, Zukünftige Entwicklungen	Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel
Energiewirtschaft und Marktintegration Erneuerbarer Energien	Vermittlung der Markttrollen und Akteure in der Energiewirtschaft, Grundlagen des Energiehandels (Märkte, Netze), Mechanismen für die Integration von erneuerbaren Energien in die Strommärkte	Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel
Systemtechnik in der Photovoltaik	Systemtechnische Betrachtung von photovoltaischen Erzeugungsanlagen: Anlagenkonfigurationen, Wechselrichtertopologien, technische Funktionsweise selbstgeführter Wechselrichter, Herausforderungen bei der Netzintegration von PV-Anlagen, Analyse von Inselnetzsystemen	Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel
Innovative Energiesysteme	Entwicklung der Energieversorgung und Klimaziele, Innovationen konventioneller Kraftwerke, Regenerative Energieformen, Power-to-X, Sektorenkopplungen (Verkehr, Wärme, Gas), Speichersysteme, Wasserstoffnutzung, Inselnetze, Prosumer-Haushalte	Prof. Dr. -Ing. Bernd Engel
Regelung in der elektrischen Energieversorgung	Einführung in die Netzregelung, Übertragung elektrischer Energie, Dynamisches Verhalten sowie Frequenz- und Spannungsregelung von Synchrongeneratoren in Kraftwerken, Übergeordnete Regelung von Stromnetzen, Regelung von DC-Systemen, Umrichtertechnik	Dr.-Ing. Stefan Laudahn
Elektrische Grundlagen der Energietechnik für das Verkehrs- und Umweltingenieurwesen	Grundlagen der elektrischen Energieversorgung, Komplexe Wechselstromrechnung und ihre Anwendung in Drehstromsystemen und Netzbetriebsmitteln, Themen der elektrischen Sicherheit	Prof. Dr.-Ing. Michael Terörde Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel Prof. Dr.-Ing. Markus Henke

Seminare: Für Studierende

Seminar	Inhalt	Dozent
Studienseminar Innovative Energiesysteme	Vortragsreihen und Präsentationstraining zu energietechnischen und energiewirtschaftlichen Themen	Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat
Technologiefolgenbewertung	Chancen neuer Technologien für gesellschaftliche Probleme, Risiken und Nebenwirkungen neuer Technologien, systematische Analyse und Bewertung der Auswirkungen von Technologien auf die Gesellschaft	Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat Prof. Dr.-Ing. Michael Terörde Prof. Dr.-Ing. Markus Henke Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel

Seminare: Für Doktoranden

Seminar	Inhalte	Dozent
Seminar Hochspannungstechnik für Doktoranden	Systemdenken kennen und verstehen, Verständnis der Systemtheorie	Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat
Seminar Nachhaltige Energiesysteme für Doktoranden	Entwicklung der Energieversorgung und Klimaziele, Speichersysteme, Wasserstoffnutzung	Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel

Praktika

Praktikum	Inhalt	Dozent
Elektromobilität	Batteriediagnostik, Elektrodenherstellung, Elektrodenpackaging, Leistungselektronik und elektrische Maschinen, Antriebsstrangsimulation	Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat
Innovative Energiesysteme	Einblick in Energiesysteme, Beitrag der Energiesysteme zur Energiewende in Prosumerhaushalten, Schlüsselkomponenten, Photovoltaikzellen, PV-Wechselrichter, Inselnetzsysteme, Wärmepumpen, Energiemanagement	Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel
Analyse, Simulation und Planung von Netzen	Einführung Netzmodellierung und -berechnung mit DIgSILENT PowerFactory, Einführung Datenverarbeitung und -modellierung mit Python, Anwendung von Python in der Energiesystemmodellierung und -analyse	Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel
Elektrotechnisches Laborpraktikum Vertiefung Batterietechnologien (eLVBatt)	Impedanzspektroskopie für instabile Zustände, Druckverteilung in LIB, Oberflächenanalytik von Elektroden, Explosionsversuche mit LIB, Simulation und Modellierung von Batterien	Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat
Hochspannungstechnik	Hochspannungsmesstechnik, Isolierstofftechnik, Erzeugung hoher Gleich- und Wechselspannung, Blitzstoßspannung, Durchschlaguntersuchungen, Einsatz von Augmented Reality und Ausschaltuntersuchungen von Leistungsschaltern	Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat

Studentische Arbeiten 2024

Studienarbeiten

Autor*in	Titel der Arbeit
Abdulkali Kocabasa	State of Charge Estimation for Lithium-ion Batteries by using Long Short-Term Memory and Random Forest Model
Erdene Otgonpurev	Untersuchung der Kopplung zwischen elektrochemischem und thermischem Modell zur Simulation der Temperaturverteilung einer LIB
Eugen Winterfeld	Analyse der Eignung von Prosumer-Haushalten mit ihren flexibelsteuerbaren Anlagen für Systemdienstleistungen
Hannah Nowak	Potentialanalyse zur anwendungsbezogenen Mehrfachnutzung von häuslichen Batteriespeichersystemen
Idoya Fernandez-Roncal	Implementierung und Bewertung variabler und dynamischer Netzentgelte auf die Netzdienlichkeit von Prosumer-Haushalten
Jan Ackermann	Entwicklung eines methodischen Ansatzes zur Abschätzung der Topologie und Leitungsführung in Windparks
Joachim Henning	Analyse der Korrelation von Marktpreisen und Erzeugungsstruktur für elektrische Energie
Louisa Schluer	Recherche zum internationalen Rollout intelligenter Messsysteme und möglicher Umsetzung von Energiemanagement
Mara Luisa Hiller	Charakterisierung von Graphit in Lithium-Ionen-Batterien unter Berücksichtigung variierender Resynthese-Anteile im Rahmen des Batterie-Recyclings
Tim Düwel	Entwicklung eines spannungsgeregelten Elektrolysemodells zur Untersuchung eines dynamischen Leistungsbezugs

Bachelorarbeiten

Autor*in	Titel der Arbeit
Adem Cubukcuoglu	Update und Inbetriebnahme einer automatisierten Steuerung für einen Marx-Generator
Antonius Holfeld	Untersuchung techno-ökonomischer Aspekte der Wirkleistungssteuerung bei Batteriespeichersystemen in der Mittelspannung und der vorgelagerten Umspannebene
Daniel Gasek	Entwicklung von Regelungen für Erzeugungsanlagen und Batteriespeichersysteme im Prosumer Haushalt
David Menzel	Weiterentwicklung eines bidirektionalen Optimierungsmodell für Elektrofahrzeuge im Hinblick auf leistungsabhängige Wirkungsgrade und Batteriealterung
Jannes Hedden	Untersuchung des Einflusses variierender Bindersysteme durch symmetrische Pouch-Zellen

Autor*in	Titel der Arbeit
Johannes Schott	Untersuchung der Durchschlagshäufigkeit einer Kugel-Kugel-Anordnung in einem CO ₂ /O ₂ Gemisch bei Beanspruchung durch Blitzstoßspannung
Johannes Wache	Untersuchungen zur Eignung der Wavelet Analyse für die Parametrierung von Lithium-Ionen-Batteriezellmodellen
Jost Maenicke	Konzeptionierung und Entwicklung eines Dashboards zur öffentlichkeitswirksamen Darstellung projektspezifischer Forschungsaspekte des Forschungsprojektes Hydrogen Terminal Braunschweig
Julia Schild	Planung, Durchführung und Auswertung von Messungen von Elektrofahrzeugen auf einem Mitarbeiterparkplatz
Julius Fürst	Spezifikation von Algorithmen für Energiemanagement im Prosumer Haushalt
Karanbir Singh	Simulative Bewertung von zwischenharmonischen Oberschwingungen und deren Auswirkungen auf Flickerwerte im Netz
Kerim Özdemir	Erprobung der 3D-Drucktechnologie zur Prototypfertigung von Feldsteuerringen für Vakuum-Leistungsschalter
Laura Heßler	Analyse von nicht-statischen Netzentgelten und Stromtarifen sowie resultierender Potentiale in der Mehrfachnutzung von häuslichen Batteriespeichersystemen
Lukas Heller	Explorative Auswertung gemessener Smart Meter Daten und deren Vergleich mit Standardlastprofilen
Mads Burgdorf	Entwicklung einer Charakterisierungsstrategie für Batteriekomponenten durch symmetrische Zellen
Morten Müller	Evaluation des Rollouts intelligenter Messsysteme und möglicher Kommunikationswege für verteiltes Energiemanagement im internationalen Vergleich
Muhammed Öztürk	Dielektrische Charakterisierung von Batterie-Separatoren und Einflussbestimmung von Silberleitlack
Niklas Zawade	Entwicklung einer Monte-Carlo-Simulation zur Analyse der Auswirkungen des EnWG 14a auf das gesteuerte Laden
Oscar Steiner	Entwicklung und Durchführung einer Zielkostenrechnung für alternativ betriebene Landmaschinen in der deutschen Landwirtschaft
Rika Webel	Simulative Untersuchung von Frequenzbestimmungsverfahren
Sophie Springub	Ökonomische Analyse der Momentanreserveverbringung mit einem Batteriespeicher in der Niederspannung
Stefan Winkelmann	Entwicklung eines techno-ökonomischen Modells zum Vergleich von Netzausbau und intelligenter Verbrauchssteuerung
Steffen Clausen	Bewertung unterschiedlicher Topologien von Elektrolysegleichrichtern zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen

Masterarbeiten

Autor*in	Titel der Arbeit
Abbas Salamehzavareh	Analyse von Teilentladungsmessung bei 50 Hetz und im Kilohertzbereich an Modellanordnungen
Ahmed Hassan	Weiterentwicklung eines Modells zur Optimal Dimensionierung von haushalten mit Prosumer-Anlagen
Alexander Pagel	Optimierung der Versuchsstrategie für zyklische Zellalterungsphänomene unter Berücksichtigung mechanischer Verspannung
Amando Pöschl	Model-Based Systems Engineering (MBSE) with SysML and its application in the field of hybrid-electric commuter aircraft
Cedric Jackmann	Druckoptimierte Formierung und zyklische Alterung von Lithium-Ionen Pouch-Zellen unter Betrachtung variierender Separatormaterialien
Christian Krüger	Methodische Untersuchung des Degassing-Zeitpunktes von Lithium-Ionen Pouch-Zellen während der Formierung
Daniël Müller	Anwendbarkeit elektrischer und elektrochemischer Charakterisierungsverfahren auf Lithium-Schwefel-Zellen mit polymerbasiertem Festelektrolyten
David Cziumplik	Design und Aufbau eines AMF-Kontakt Test Systems für Hochspannungs-Vakuumleistungsschalter
Emmanuel-Wilson Bauni Kanga	Netzintegration einer 2,0 MW-Sicherheitsstromanlage im Stromversorgungsnetz der VW Kraftwerk GmbH
Erdene Otgonpurev	Untersuchung der Parametrierung eines physikalisch-chemischen Modells nach Newman für eine Lithium-Ionen-Batterie-Pouch-Zelle
Eugenia Gelwert	Analyse der Import- und Fördermöglichkeiten für grüne H ₂ -Produkte aus sonnenreichen Ländern
Gokul Gopakumar	Funktionsentwicklung zur Bestimmung der Restkapazität einer Lithium-Eisenphosphat-Zelle zur Anwendung in einem Batteriemanagementsystem
Haitian Zhao	Vergleich und simulative Bewertung verschiedener DC/DC-Konvertermodellierungen im Fehlerfall am Beispiel Buck-Topologie
Haolin Guo	Entwicklung einer Methode zur Auswahl eines DC-Schutzsystems im Projekt NetFlexum mithilfe von MBSE
Hava Cesur	Analyse der Auswirkungen von Batteriespeichersystemen auf die Stromkosten im Prosumerhaushalt: Ein Fokus auf Belastungsfaktoren und Alterungsprozesse
Huanni Zhu	Modellbasierte Entwicklung von PHIL-Experimenten für DC-Systeme
Inken Häußler	Entwicklung eines bidirektionalen Optimierungsmodell für das Lademanagement von Elektrofahrzeugen

Autor*in	Titel der Arbeit
Jakob Hefenbrock	Untersuchung der Parametrierung eines physikalisch-chemischen Modells für eine Lithium-Ionen-Batterie-Zelle mithilfe von Drei-Elektroden-Zelltests
Jan Ackermann	Entwicklung einer Methodik zur präzisen Prognose der elektrischen Leistung und Verluste in Windenergieanlagen unter Einsatz von PandaPower
Janina Gottschalk	Untersuchung der chemischen Veränderungen in Lithium-Ionen-Batterien durch Verunreinigungszusätze im Kontext des Recyclings
Jan-Malte Barth	Konzeptionierung und Entwurf eines Prüfstandes zur Untersuchung der Kommunikations-Kompatibilität von Ladesäulen
Julian Garthoff	Untersuchung druckoptimierter Ladestrategien für Lithium-Ionen Zellen unter Berücksichtigung mechanischer Druckprofile
Julius Trützschler	Entwicklung einer Methode zur prozessübergreifenden Qualitätsanalyse in den Engpassbehebungsprozessen der deutschen Übertragungsnetzbetreiber
Keno Giesselmann	Bewertung netzdienlicher und netzstützender Ladeansätze für Elektrofahrzeuge anhand von Messdaten eines kommerziellen Fuhrparks
Kevin Preißner	Prüfung der Kompatibilität zwischen Batteriespeichern und Batteriewechselrichtern
Lara Prüßmeier	Entwicklung eines bidirektionalen Lademodell unter Berücksichtigung unterschiedlicher Netzzustände
Linda Bolte	Modellierung eines selbstgeführten, dreiphasigen Wechselrichters zur Erprobung von Stromregelkonzepten in MATLAB Simulink
Lisa Ermer	Untersuchung des Einflusses dynamischer Stromtarife auf die Mehrfachnutzung häuslicher Batteriespeichersysteme: Stakeholderanalyse, Konzeptionierung, Simulation und Potentialanalyse
Manuel Suilmann	Entwicklung einer Betriebsstrategie für die Kombination aus Batteriespeichersystem, Elektrolyseur und PV-Anlage unter Verwendung mathematischer Optimierung
Marcel Bialojahn	Bewertung von Prognosegüten verschiedener Methoden zur Lastprognose im Mehrfamilienhaus
Max Gand	Erstellung, simulative Umsetzung und Validierung von Netzszenarien mit dem Fokus auf Momentanreservebereitstellung
Maximilian Jantos	Detaillierte technische Beschreibung und Normierungsmöglichkeiten von Anlagen für ein exponentielles Wachstum der EE-Erzeugung, lokale Nutzung und Erzeugung von grünem Wasserstoff für Länder in Nordafrika
Meike Hastedt	Optimierung von Balancingverfahren in industriellen Batteriespeichersystemen
Michael Schreiber	Nachhaltige Batteriespeicher: Erstellen eines Optimierungsmodells für First- und Second-Life-Batteriesysteme
Nicolas Hebler	Labortechnische Umsetzung und Erprobung eines bidirektionalen Testaufbaus für Elektrofahrzeuge

Autor*in	Titel der Arbeit
Nils Osterkamp	Weiterentwicklung einer selbstlernenden Blindleistungsregelung in einem aktiven Blindleistungsmanagement
Peter-Matthias Reimers	Konzeptionierung, Analyse und Bewertung von Ladeinfrastruktur für Batterieelektrische Triebzüge am Beispiel Goslar und Bad Harzburg
Qianyu Wu	Grid Forming Wind Farm Converter Controllability Fault Ride Through Study with Participation of HVDC
Qincheng Yang	Development of a methodology of preference ranking methods for selecting a DC protection system in the ethan project using MBSE
Ramona Hilse	Technisch-wirtschaftliche Analyse von lokalen und zentralen Strategien für das phasengenaue Laden von Elektrofahrzeugen in Niederspannungsnetzen
Rika Webel	Simulative Untersuchung von Frequenzbestimmungsverfahren
Shubham Kumar	Messtechnische Untersuchung der Wiederverfestigungseigenschaften alternativer Löschgase für Hochspannungsschaltgeräte
Siyuan Chen	Simulating and Characterizing Battery Aging in Battery Storage Systems for Enhanced Prosumer Optimization Considering Wear Costs
Stefan Klöpping	Entwurf und Aufbau eines Laborwechselrichters zur perspektivischen Verwendung als Funktionsmuster für neuartige Stromrichterregelungen
Stefanie Schürmann	Untersuchung von Lithium-Ionen-Zellen in Abhängigkeit von Zellgröße und Verunreinigungszusätzen
Steffen Viere	Modellierung und Analyse des elektrischen Energiebedarfs von Beregnungsanlagen
Tianjiao Jiang	Potentialanalyse zur nutzerbasierten Mehrfachnutzung von Batteriespeichersystemen und Elektrofahrzeugen
Timo Jelden	Entwicklung und experimentelle Validierung von Schutzkonzepten für DC-Fehler in HGÜ-Systemen
Timo Prescher	Implementierung einer datengetriebenen Analyse und Auswertung für ein reales Blindleistungsmanagement im Verteilungsnetz
Tobias Jesberger	Dielektrische Untersuchung des externen Überschlagsmechanismus eines Vakuum-Leistungsschalters mit Hilfe einer Durchschlagsstrommessung
William Kusno	Entwicklung einer GIS-basierten Methodik zur Abschätzung von Blindleistungspotenzialen und Verlusten in PV-Anlagen
Xuan Thien Le	Entwicklung einer adaptiven Energiemangementstrategie zur Berücksichtigung von Unsicherheiten
Yuhe Niu	Theoretische Untersuchungen eines physikalisch-chemischen Lithium-Ionen-Batteriezellen-Modells mit Sensitivitätsanalyse zur Bewertung des Parametereinflusses beim Schnellladen
Zhimin Wei	Detektion und Simulation von sicherheitsrelevanten Batteriezellfehlern bei Elektrofahrzeugen

Noch nicht genug von **HOCHSPANNUNG?**

Die PFIFFNER Group
bietet spannende Jobs
in der Energiebranche!

Schau mal rein:



pfiffner-group.com



**PFIFFNER
MOSER GLASER
HAEFELY
HAVECO**

Studentische Arbeiten 2025

Studienarbeiten

Autor*in	Titel der Arbeit
Jonas Schenk	Bewertung der energiewirtschaftlichen Integrationsmöglichkeiten von Elektrolyseuren und Batteriespeichersystemen zur Energieflexibilisierung unter Berücksichtigung von regulatorischen Rahmenbedingungen zur nachhaltigen grünen Energiespeicherung
Julian Bär	Regionalisierte Potentialanalyse der Momentanreserveverbringung aus Batteriespeichern
Lea Schultz	Untersuchung des Einflusses der Lötnaht innerer Schirme auf die elektrische Festigkeit von Vakuum-Leistungsschaltern
Lenja Ottenhues	Umsetzung und simulative Bewertung variabler Netzentgelte für Prosumer-Haushalten hinsichtlich Netzdienlichkeit und Wirtschaftlichkeit
Lennart Jantzen	Hotspot- und Schwachstellenanalyse einer Mittelspannungsschaltanlage
Malte Gramzow	Modellstrukturen zur Abbildung des frequenzabhängigen Verhaltens netzbildender Wechselrichter
Marvin Bückers	Untersuchung des Einflusses verschiedener Parameter auf die elektischen Festigkeit einer quasi-homogenen Anordnung bei AC-Belastung

Bachelorarbeiten

Autor*in	Titel der Arbeit
Constantin von Lützwow	Untersuchung der Netzauswirkungen profitoptimierter häuslicher Batteriespeichersysteme
Harm Weyberg	Entwicklung und Evaluation von Betriebsstrategien zur Momentanreserveverbringung mit einem Batteriespeicher in der Niederspannung
Jan Philip Richter	Weiterentwicklung und Erweiterung einer Datenbasis für die Verwendung kohärenter Zeitreihen
Jonas Keppeler	Entwurf eines Modells von einem Batteriespeichersystem und Evaluation der dynamischen Grenzen des Systems in Bezug auf die Erbringung von Momentanreserve
Juan Carlos Fleischhauer González	Untersuchung der äußeren elektrischen Festigkeit eines Vakuum-Leistungsschalters bei Variation des Kontaktabstands
Justus Elte	Ermittlung der Blitzstoßspannungsfestigkeit eines Vakuum-Prüfgefäßes
Kiron Islam	Entwicklung einer konsistenten Datenbasis für das Energiemanagement

Autor*in	Titel der Arbeit
Lars Kisser	Bewertung des Potentials unterschiedlicher Arten und Topologien von Elektrolysegleichrichtern hinsichtlich der Stromnetz- und Prozessdienlichkeit
Mahmud Akbari	Inbetriebnahme eines Vakuum-Prüfgefäßes zur Ermittlung der elektrischen Festigkeit im Vakuum
Manuel Meinecke	Untersuchung separatorabhängiger Formierungsstrategien für Pouch-Zellen unter Anwendung von Druckprofilen
Matteo Weinrich	Analyse der Auswirkungen von Tarifstufenwechseln im Smart-Meter-Gateway auf HEMS-Optimierungsergebnisse
Nina Victor	Potentialanalyse der profitgetriebenen Mehrfachnutzung von häuslichen Batteriespeichersystemen
Sophie Springub	Ökonomische Analyse der Momentanreserveerbringung mit einem Batteriespeicher in der Niederspannung
Tim Beuchel	Recherche und Analyse der Formen marktgestützter Beschaffung von Momentanreserve in anderen Ländern sowie Untersuchung der Übertragbarkeit auf Deutschland

Masterarbeiten

Autor*in	Titel der Arbeit
Andreas Laufer	Modellbasierte Untersuchung der Druckbelastbarkeit von Separatoren und die Auswirkungen auf die Performance von Lithium-Ionen Batterien
Artur Schmidt	Konzeptionierung einer Systemumsetzung und Potenzialanalyse von bidirektionalem Laden in der gewerblichen Flottenanwendung
Carolin Stützer	Entwicklung und Test eines Tools zur automatisierten Parametrierung von PowerFactory-Netzmodellen
Constantin Carolus	Strategische Analyse des Netzausbaus und resultierenden Investitionsbedarfs im Mittel- und Niederspannungsnetz Weiden im Kontext der Anforderungen der beschleunigten Energiewende
Elias Oppermann	Bewertung von Prognosegüten verschiedener Methoden zur PV-Erzeugungsprognose auf Prosumerebene
Franklin Brice Kuipou	Dynamische Modellierung von Schmelzsicherungen und die Untersuchung des Verhaltens in zukünftigen Niederspannungsnetzen
Haonan Gu	Schaltungsentwurf einer hochfrequenten Hochspannungserzeugung
Harun Al-Sarea	Analyse und Modellierung von Kontaktverlusten in Mittelspannungsschaltanlagen unter Berücksichtigung verschiedener Einflussfaktoren

Autor*in	Titel der Arbeit
Jonas Keppeler	Entwurf eines Modells von einem Batteriespeichersystem und Evaluation der dynamischen Grenzen des Systems in Bezug auf die Erbringung von Momentanreserve
Kai Schulze	Untersuchung der äußeren elektrischen Festigkeit eines Vakuum-Leistungsschalters bei Variation innerer Schirme
Klaas Koring	Untersuchung und Verbesserung einer Verteilfunktion für Wirkleistungs-Arbeitspunkte von Offshore-Windparks beim Betrieb am redundanten Netzanschlussystem
Konstantin Wenzlaff	Analyse und Auswertung der dezentralen Wärmeversorgung in Haushalten mit Hilfe von Hybrid-Wärmepumpen
Kristin Köser	Wirtschaftliche Bewertung der Synergiepotenziale eines hybriden Batteriespeicher-Elektrolyseur-Projekts
Lisa Ermer	Untersuchung des Einflusses dynamischer Stromtarife auf die Mehrfachnutzung häuslicher Batteriespeichersysteme: Stakeholderanalyse, Konzeptionierung, Simulation und Potentialanalyse
Liu Kaiyu	Planung und Vorbereitung von Versuchen zu verschiedenen Fehlerzuständen in einem DC-Modellnetz mittels DoE im Rahmen des Projektes SMS-II
Louisa Schlüer	Weiterentwicklung eines Dimensionierungsmodells für energietechnische Anlagen in Wohngebäuden und Analyse signifikanter Einflussparameter
Mara Luisa Hiller	Methodische Untersuchung einer Charakterisierungsstrategie von anodenseitigen Beschichtungskomponenten für Lithium-Ionen Zellen
Maximilian Schultz	Technische und wirtschaftliche Analyse der Sternpunktbehandlung von 20-kV-Netzen innerhalb Braunschweigs
Mi Zhang	Vergleich und simulative Bewertung von Methoden der regelungstechnischen Strombegrenzung im Fehlerfall am Beispiel Buck-Topologie
Nan Dong	Correlation studies between different setting parameters of the electrochemical impedance spectroscopy and the obtained impedance spectra
Qie Yixuan	Untersuchung der druckabhängigen Zellperformance von Lithium-Ionen Zellen und Parametrierung eines druckabhängigen EECM-Modells
Shiyuan Wang	Literature-based data collection and processing of components and systems in onboard electrical network
Shridhar Paramesh	Untersuchung der kalendarischen und zyklischen Alterung von Natrium-Ionen-Zellen und Modellierung des Zellverhaltens
Stefan Gosling	Optimierung des Energieversorgungssystems der Kläranlage Steinhof unter finanziellen Gesichtspunkten
Steffen Bollhorn	Technoökonomische Analyse geeigneter Spannungsebenen für die Bereitstellung von Momentanreserve aus Batteriespeichersystemen

Autor*in	Titel der Arbeit
Thorben Wehmeier	Entwicklung und Optimierung von Vermarktungsstrategien für Batteriespeichersysteme an den Regelenergie- und Spotmärkten
Timon Justi	Bewertung von Prognosegüten verschiedener Methoden von Prognosen des elektrischen Bedarfs von Wärmepumpen auf Prosumerebene
Xue Weisheng	Untersuchung der Oberflächenentladungen an Isolierstoffen
Yanan Huang	Entwurf einer hochfrequenten Hochspannungserzeugung für dielektrische Untersuchungen für Isolierstoffe der Elektromobilität
Yasmin Ahmed	Konzeptionierung, Umsetzung und simulative Auswertung einer minimal-invasiven Steuerung in der Niederspannungsebene
Yida Li	Teilentladungsuntersuchungen an 3D-gedruckten Isoliermaterialien zur Anwendung in der Elektromobilität
Yongming Wang	Klassifizierung und simulative Bewertung nichtisolierter, strombegrenzender DC/DC-Konvertertopologien anhand ihres Fehlerverhaltens
Yuanye Zhang	Design von Ansteuerung und Schutz eines DC/DC-Wandlers im Rahmen des Forschungsprojektes NetFlexum

avacon

Wir gratulieren zu
100 Jahren
elenia Institut

Wir machen aus

Menschen

Mannschaften.

Mit dir bei jobs.avacon.de

Weil dir Morgen nicht egal ist.





Chronologie

Veröffentlichungen 2024	166
Veröffentlichungen 2025	170
Veranstaltungen und Events 2024	172
Veranstaltungen und Events 2025	174
Beteiligung an der Selbstverwaltung 2024	176
Beteiligung an der Selbstverwaltung 2025	177

Veröffentlichungen 2024

Flügel, K.; Gentsch, D.; Kurrat, M.

Additive Manufactured Field Control Ring for Improving External Dielectric of Vacuum Interrupter

9TH ITG INTERNATIONAL VACUUM ELECTRONICS WORKSHOP, BAD HONNEF, 28. – 30.08.2024

**Sauer, T.; Grobler, J.;
Dammann, B.; Engel, B.**

Analysis of the systemic potential and normal operation behaviour of grid-forming electrolyzers to cover the future inertia demand

23RD WIND & SOLAR INTEGRATION WORKSHOP (WIW 2024), HELSINKI, FINLAND, 08. – 11.10.2025,
DOI: 10.1049/ICP.2024.3824

Witt, F.; Bösche, D.; Vieth, P.; Kurrat, M.;

Anlagenschutz von DC-Netzen in Wohngebäuden mit strombegrenzender Leistungselektronik

4. SYMPOSIUM ELEKTRONIK UND SYSTEMINTEGRATION ESI, LANDSHUT, 2024, S. 73 – 82,
DOI: 10.57688/423

Wagner, H.; Ferk, M.; Scheunert,

A.; Engel, B. and Weyer, H.

Behind-the-Meter and Front-of-the-Meter Applications in the Multi-Use of Residential Battery Storage Systems Considering the Legal Framework in Germany
Conference on Sustainable Energy Supply and Energy Storage Systems

HAMBURG, 2024, S. 164 – 171, DOI: 10.30420/566464022

Jesberger, T.; Flügel, K.;

Gentsch, D.; Kurrat, M.

Breakdown Current Measurement for Detecting the Initiation of Two-Stage External Flashovers of a Vacuum Interrupter

9TH ITG INTERNATIONAL VACUUM ELECTRONICS WORKSHOP, BAD HONNEF, 28. – 30.08.2024

Eickelmann, L.; Ebbert, L.; Engel, B.

Charging electric vehicles from the perspective of system operators and grid operators, taking into account the grid-regulating effect of legislation law EnWG §14a

8TH E-MOBILITY POWER SYSTEMS INTEGRATION SYMPOSIUM (EMOB 2024), HYBRID CONFERENCE, HELSINKI, FINLAND, 07. – 08.10.2024, S. 214 – 221,
DOI: 10.1049/ICP.2024.3754

Müller, N.; Di-Modica, G.;

Gartner, J.; Engel, B.

Concept of a device for universal manipulation of charging processes of electric vehicles to increase distribution system hosting capacity

CIRE2024 VIENNA WORKSHOP, INCREASING DISTRIBUTION NETWORK HOSTING CAPACITY, WIEN, ÖSTERREICH, 19. – 20.06.2024

Winter, B.; Garn, T.; Herman, R.; Engel, B.

Design and Implementation of Static Voltage Support via Q-V Characteristics on Grid-Forming Inverters in Combined Operation With Grid-Following Inverters

23RD WIND & SOLAR INTEGRATION WORKSHOP (WIW 2024), HELSINKI, FINLAND, 08. – 11.10.2024

Winter, B.; Schulz, N.; Gand,

M.; Tiedt, F.; Engel, B.

Design of a robust grid-forming control for low-voltage grids

23RD WIND & SOLAR INTEGRATION WORKSHOP (WIW 2024), HELSINKI, FINLAND, 08. – 11.10.2024,
DOI: 10.1049/ICP.2024.3817

Kahn, M.; Kurrat, M.

Dielectric Breakdown of Air with Additively Manufactured Electrodes

IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON HIGH VOLTAGE ENGINEERING AND APPLICATION (ICHVE), 2024, S. 1 – 3, DOI: 10.1109/ICHVE61955.2024.10676129

Hoffmann, M.; Inkermann, D.; Knieke, C.;

Zeng, F.; Kopp, T.; Terörde, M.; Kurrat, M.

Early Design Stage Evaluation of All Electric Aircraft Power Systems Focusing on Long-Term Behavior

ENERGIES 17, NO. 18: 4653, DOI: 10.3390/EN17184653

Wegkamp, C.; Wagner, H.;

Niehs, E.; Essers, J.; Lüdecke, M.; Hadlak, M.; Engel, B.

eELib: Open-Source Model Library for Prosumer Power Systems and Energy Management Strategies

OSMSSES, WIEN, ÖSTERREICH, 03. – 04.09.2024,
DOI: 10.1109/OSMSSES62085.2024.10668964

Flügel, K.; Jesberger, T.;

Gentsch, D.; Kurrat, M.

Effect of External Field Control Ring for Vacuum Interrupter using Lightning Impulse Voltage

IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON HIGH VOLTAGE ENGINEERING AND APPLICATION (ICHVE), BERLIN, 18. – 24.08.2024

Holodrf, M.; Jackmann, C.;

Lienesch, F.; Kurrat, M.

Effects of mechanical pressure on the components of pouch-cells and their performance

KRAFTWERK BATTERIE/ADVANCED BATTERY POWER, MÜNSTER, 10. – 11.04.2024

Rollin, A.; Wang, Z.; Novák, P.; Kurrat, M.

Effects of Metal Oxalates from Recycling on Li-Ion-Batteries

KRAFTWERK BATTERIE/ADVANCED BATTERY POWER, MÜNSTER, 10. – 11.04.2024

Winter, B.; Schulz, N.; Engel, B.

Effects of the use of grid-forming converters on the islanding detection of existing low-voltage systems

VDE VERLAG GMBH, NEIS 2024, HAMBURG, 16. – 17.09.2024, S. 121 – 126, DOI: 10.30420/566464016

Wagner, H.; von Lützwow, C.; Lüdecke, M.; Meinert, M.; Engel, B.

Empowering collective self-consumption in multi-family houses: user-based multi-use of residential battery storage systems

23RD WIND & SOLAR INTEGRATION WORKSHOP (WIW 2024), HELSINKI, FINLAND, 08. – 11.10.2024,
DOI: 10.1049/ICP.2024.3901

Kübler, C.; Essers, J.; Niehs, E.; Engel, B.; Grandel, M.

Ereignisvariable Tarife zur Lastverschiebung von steuerbaren Verbrauchseinrichtungen im Prosumer-Haushalt

HMD PRAXIS DER WIRTSCHAFTSINFORMATIK 61 (4), 2024, S. 958–990

Essers, J.; Niehs, E.; Engel, B.

Evaluating Energy Management: A Comparative Analysis of Smart Meter Versus State-of-the-art Measurement Devices

5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS, INFORMATION, ELECTRONIC, 2024

Garn, T.; Nguyen D.-A.; Engel, B.

Evaluation of the Ability of a Battery Energy Storage System with a Grid Forming Inverter to provide Instantaneous Reserve regarding the Limitations of the Dynamic Behaviour of Battery Cells

8TH HYBRID POWER PLANTS & SYSTEMS WORKSHOP, AZORES, PORTUGAL, 14.–15.05.2024

Wagner, H.; Lüdecke, M.; Scheunert, A.; Wegkamp, C.; Engel, B.; Weyer, H.

Extended Technical and Legal Analysis of the Grid-Serving Multi-use of Battery Storage Systems for Prosumers

VDE HIGH VOLTAGE TECHNOLOGY; ETG SYMPOSIUM, BERLIN, 11.–13.11.2024, DOI: 10.1049/ICP.2023.2739

Flügel, K.; Gentsch, D.; Kurrat, M.

External Field Control for Vacuum Interrupter

VDE HOCHSPANNUNGSTECHNIK, 5. ETG-FACHTAGUNG, BERLIN, 11.–13.11.2024

Essers, J.; Niehs, E.; Engel, B.

Impact of Smart Metering on Home Energy Management: A Comparison to State-of-the-Art Power Sensors

NEIS 2024; CONFERENCE ON SUSTAINABLE ENERGY SUPPLY AND ENERGY STORAGE, 2024

Niehs, E.; Essers, J.; Rothert, J.; Engel, B.

Implementing prosumer-to-prosumer communication in the German smart meter infrastructure

IET CONFERENCE PROCEEDINGS CP891, 2024, S. 981–987

Meyer, T.; Gentsch, D.; Kurrat, M.

Influence of contact material for rotating vacuum arcs using increased gaps above 20 mm

9TH ITG INTERNATIONAL VACUUM ELECTRONICS WORKSHOP, BAD HONNEF, 28.–30.08.2024

Tiedemann, L.; Hunziker, S.; Kurrat, M.

Influence of Lightning Impulse Breakdowns on the Surface of Plane Stainless Steel Electrodes

VDE HOCHSPANNUNGSTECHNIK, 5. ETG-FACHTAGUNG, BERLIN, 11.–13.11.2024

Kahn, M.; Kurrat, M.

Influence of Printing Resolution and Curing Time on the Dielectric Properties of SLA-Prints

VDE HOCHSPANNUNGSTECHNIK, 5. ETG-FACHTAGUNG, BERLIN, 11.–13.11.2024, S. 178–181, ISSN: 978-3-8007-6466-2

Meyer, T.; Gentsch, D.; Kurrat, M.

Influence of vacuum arcs on the post-arc current of a vacuum interrupter using synthetic test circuit

VDE HIGH VOLTAGE TECHNOLOGY; ETG SYMPOSIUM, BERLIN, 11.–13.11.2024

Walujski, S.; Sauer, T.; Engel, B.

Interrelation between inertia and frequency-dependent active power control in case of system splits

23RD WIND & SOLAR INTEGRATION WORKSHOP (WIW 2024), HELSINKI, FINLAND, 08.–11.10.2024, DOI: 10.1049/ICP.2024.3775

Landrath, O.; Chrosciewski, F.; Kurrat, M.

Investigations of fast charging strategies for LIB cells with Si/G anodes using an electrode equivalent circuit model approach

KRAFTWERK BATTERIE/ADVANCED BATTERY POWER, MÜNSTER, 10.–11.04.2024

Kurrat, M.; Hunziker, S.; Tiedemann, L.
Lightning impulse breakdown voltage analysis for CO₂ mixtures

VDE HOCHSPANNUNGSTECHNIK, 5. ETG-FACHTAGUNG, BERLIN, 11.–13.11.2024

Wagner, H.; Ferk, M.; Engel, B.

Mathematical Optimization Model for the Application-Based Multi-Use of Residential Prosumer Battery Storage Systems

2024 IEEE SUSTAINABLE POWER AND ENERGY CONFERENCE, KUCHING, SARAWAK, MALAYSIA, 24.–27.11.2024, DOI: 10.1109/ISPEC59716.2024.10892539

Lüdecke, M.; Gries, M.;

Meinert, M.; Engel, B.

Mess- und Abrechnungskonzept für eine gemeinschaftliche Energieversorgung aus PV-Speichersystemen im Mehrfamilienhaus
PV-SYMPOSIUM, BAD STAFFELSTEIN, 27.–29.02.2024

Chaffey, G.; Jahn, I.; Hoffmann,

M.; Alvarez Valenzuela, R.;

Prieto Araujo, E.; Norrga, S.

Model-based systems engineering for HVDC grids – state-of-the-art and future outlook

CIGRE SESSION 2024, PAPER 10836, PARIS, FRANKREICH, 25.–30.08.2024

Gerlach, J.; Beutel, V.; Wegkamp,

C.; Breitner, M. H.; Greißendörfer,

S.; Engel, B.; von Maydell, K.

Navigating the energy transition: Identifying critical success factors for ancillary services provision and sustainable energy solutions in Germany

HELIYON, JG.(2024), ISSN: 2405-8440, DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.E27643

Essers, J.; Niehs, E.; Engel, B.

Optimization of prosumer household with solar, battery and electric vehicle: enhancing residential energy management considering non-constant efficiency

IET CONFERENCE PROCEEDINGS CP891, 2024, S. 752–757

Kahn, M.; Kurrat, M.

Optimizing Printing Parameters on Dielectric Properties in Additive Manufacturing

IEEE 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON DIELECTRICS (ICD), TOULOUSE, FRANKREICH, 30.06.–04.07.2024, S. 1–4, DOI: 10.1109/ICD59037.2024.10613305

Niehs, E.; Essers, J.; Rothert, J.; Engel, B.

Peer-to-Peer Communication Using Enhanced German Smart Meter Gateway Infrastructure

ACM SIGENERGY ENERGY INFORMATICS REVIEW 4 (4), 2025, S. 249–251

Rollin, A.; Wang, Z.; Novák, P.; Kurrat, M.

Performance Changes of Lithium-Ion-Batteries due to Electrolyte-Introduced Metal Oxalate Contaminants

JOURNAL OF THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY, VOLUME 171, NUMBER 6, JG.(2024). DOI: 10.1149/1945-7111/AD59CA

Eckhoff, S.; Manzek, L.; Ofenloch, A.;

Penaherrera, F.; Wagner, H.; Lier, S. K.
Prototyping an Open Digital Platform for Interdisciplinary Energy Research: Opportunities and Challenges

1. NFDI4ENERGY CONFERENCE, HANNOVER, 20.–21.02.2024

Grobler, J.; Sauer, T.; Gand, M.; Engel, B.

Representative Power Profiles for Inertia Provision by a Grid-Forming Inverter in the Low-Voltage Power Grid

23RD WIND & SOLAR INTEGRATION WORKSHOP (WIW 2024), HELSINKI, FINLAND, 08.–11.10.2024, DOI: 10.1049/ICP.2024.3833

Lüdecke, M.; Bialojahn, M.;

Meinert, M.; Engel, B.

Residential baseload-forecasting by applying recurrent neural networks with gated recurrent units on field data

23RD WIND & SOLAR INTEGRATION WORKSHOP (WIW 2024), HELSINKI, FINLAND, 08.–11.10.2024, DOI: 10.1049/ICP.2024.3876

Vieth, P.; Bösche, D.; Kurrat, M.

Test method to investigate the recovery behavior of DC hybrid circuit breakers

VDE HOCHSPANNUNGSTECHNIK, 5. ETG-FACHTAGUNG, BERLIN, 11.–13.11.2024

Nießen, M.; Schmid, A.;

Humpert, C.; Kurrat, M.

Transient voltage propagation in bifilar coils of a 380 kV resistive type SFCL

IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY, JG.(2024), S. 1–5, ISSN: 1558-2515, DOI: 10.1109/TASC.2024.3356500

ENGINEERED
TO OUTFIT



RUN WHAT RUNS THE WORLD



**Mach mit uns die Welt smarter,
sauberer und nachhaltiger**

Starte jetzt bei ABB

Gestalte die Energiewende mit: Von intelligenter Antriebstechnik, über künstliche Intelligenz bis hin zu Elektrifizierung und Automation – wir haben einiges zu bieten. Ob Praktikum, Abschlussarbeit, Direkteinstieg oder als Werkstudent/-in – finde deinen Job unter **careers.abb**



#ABBcareers

#RunWithABB

Veröffentlichungen 2025

Lüdecke, M.; Meinert, M.; Beck, T.; Gries, M.; Ullmann, F. T.; Engel B.
A Holistic Load Dataset of Two MultiFamily Houses Deriving from Advanced Metering Infrastructure
3RD EUROPEAN CONGRESS ON RENEWABLE ENERGY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT, LISABON, PORTUGAL, 29. – 30.09.2025

Di Modica, G.-L.; Ebbert, L.; Herman, R.; Garn, T.; Engel, B.; Dietrich, T.-H.; Becker, M.; Henke M.; Effenberger R.
Abschlussbericht zum Verbundvorhaben LISA4CL Laden – induktiv, schnell, autonom für City Logistik
2025

Flügel, K.; Gentsch, D.; Kurrat, M.
Challenges of Climate Neutrality for the External Insulation of Vacuum Interrupter
28TH CONFERENCE AND EXHIBITION ON ELECTRICITY DISTRIBUTION (CIRED), GENÈVE, SCHWEIZ, 16. – 19.06.2025

Meinert, M.; Lüdecke, M.; Beck, T.; Engel, B.
Collective self-consumption in multifamily houses: A field study on allocation strategies for shared battery storage systems
PEET 2025 - INTERNATIONAL CONFERENCE ON POWER ENGINEERING AND ELECTRICAL TECHNOLOGY, SHIGA, JAPAN, 22. – 24.10.2025

Witt, F.; Vieth, P.; Hoffmann, M.; Lotz, M.; Kurrat, M.
Conceptualizing the protection properties of DC networks: Functional requirements on DC protection systems
ETG-KONGRESS, KASSEL, 21. – 22.05.2025

Witt, F.; Farshadi, A.; Chaffey, G.; Jelden, T.; Hoffmann, M.; Kurrat, M.
Conceptualizing the protection properties of DC networks: Requirements engineering and system design
DC-IN 2025, OSTWESTFALEN-LIPPE, 17. – 18.09.2025

Kurrat, M.; Meyer, T.; Göhrmann, M.; Flügel, K.; Cziumpli, D.; Hinz, M.
Considerations on data management in VCB research
ISDEIV- INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DISCHARGE AND ELECTRICAL INSULATION IN VACUUM, CHENGDU, CHINA, 21. – 26.09.2025

Rollin, A.; Gottschalk, G.; Kurrat, M.; Novák, P.
Dangerous pitfalls in titrating water and HF content of electrolyte in Li-ion-batteries
KRAFTWERK BATTERIE/ ADVANCED BATTERY POWER, AACHEN, 01. – 03.04.2025

Jelden, T.; Lotz, M. R.; Schulz, C.; Könemund, M.; Kurrat, M.
Demonstration of DC Fault Detection and Isolation on a Laboratory Scale HVDC System
POWERTECH 2025, KIEL, 30.06. – 03.07.2025

Walujski, S.; Klöpping, S.; Tiedt, F.; Engel, B.
Determination of inertia time constant of grid-forming units through load step in islanded operation
NEIS 2025: CONFERENCE ON SUSTAINABLE ENERGY SUPPLY AND ENERGY STORAGE SYSTEMS, HAMBURG, 15. – 16.06.2025

Horstig, M.; Moschner, R.; Landrath, O.; Michalowski, P.; Kwade, A.
Development of an Induction Supported Roll to Roll Process for the Accelerated Drying of Water-Based Anodes and N-Methyl-2-Pyrrolidone-Based Cathodes for Lithium-Ion Batteries
WILEY-VCH GMBH, ENERGY TECHNOLOGY, JG.(2025), DOI: 10.1002/ENTE.202402182

Garn, T.; Weinmann, T.; Wagner, K.; Pape, J. M.; Kerber, G.; Finkel, M.; Engel, B.
Dynamic Behaviour Of Grid Forming Inverters In An Island Grid During Transformer Inrush
9TH HYBRID POWER PLANTS & SYSTEMS WORKSHOP, ÅLAND ISLANDS, FINLAND, 03. – 04.06.2025

Sager, J.; Wegkamp, C.; Nieße, A.; Engel, B.
Effect of the Quantity and Penetration of Energy Resources on the Incentivization of Grid-Beneficial Behavior in Prosumer Households
ETG KONGRESS, KASSEL, 21. – 22.05.2025

Kahn, M.; Tiedemann, L.; Kurrat, M.
Electrical Investigations of PLA: Impact of 3D-Printing on Material Properties
ISH - INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HIGH VOLTAGE ENGINEERING, KARUIZAWA, JAPAN, 24. – 29.08.2025

Manzek, L.; Niemann, L.; Steinert, A.; Wagner, H.; Werth, O.; Penaherrera, F.; Lier, S. K.
Enhancing Software Sustainability: Transferring Open-Science Solutions from ZLE to NFDI4Energy
2ND NFDI4ENERGY CONFERENCE 2025, KARLSRUHE, 24. – 26.03.2025, DOI: 10.5281/ZENODO.14792601

Flügel, K.; Kurrat, M.
External Field Control Design for Vacuum Interrupter
38TH CURRENT ZERO CLUB PLENARY MEETING, ONLINE, 13.06.2025

Rader, S. Rosebrock, N.; Meyer T. et al.
GreEner Tech: Sustainable Technology for Medium-Voltage Switchgear Systems
ETG KONGRESS, KASSEL, 21. – 22.05.2025

Meyer, T.; Cziumplik, D.; Kurrat, M.
Guidance for breaking current measurement at zero crossing for vacuum interrupters
ISDEIV- INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DISCHARGE AND ELECTRICAL INSULATION IN VACUUM, CHENGDU, CHINA, 21. – 26.09.2025

Winter, B. O.; Torunoglu, K.; Hussain, W.; Vielhauer, A.; Engel, B.
Increasing Annual Energy Yield of PV Parks with Inverter Focused Control of On-Load Tap Changers to Enhance AC Power Output and DC Voltage Range
IEEE OPEN J. IND. ELECTRON. SOC., 2025, S. 1 – V18, DOI: 10.1109/OJIES.2025.3595491.

Flügel, K.; Kurrat, M.

Influence of Internal Shields on External Dielectric of Vacuum Interrupter

ISDEIV- INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DISCHARGE AND ELECTRICAL INSULATION IN VACUUM, CHENGDU, CHINA, 21. – 26.09.2025

Di Modica, G.-L.; Ebbert, L.; Engel, B.

Investigation of Control Methods for Electric Vehicle Charging to Reduce Voltage Unbalance

SPRINGER VIEWEG, WIESBADEN, IN: HEINTZEL, A. (EDS): ANTRIEBE UND ENERGIESYSTEME VON MORGEN 2024, ATZLIVE24, 2024, DOI: 10.1007/978-3-658-47675-5_12

Meyer, T.; Gentsch, D.; Kurrat, M.

Investigation of current interruption in vacuum using long gaps up to 45 mm: A comparison of different contact geometries

ISDEIV- INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DISCHARGE AND ELECTRICAL INSULATION IN VACUUM, CHENGDU, CHINA, 21. – 26.09.2025

Tiedemann, L.; Kahn, M.; Kurrat, M.

Investigation of the Dependency of AC Breakdown Strength of a CO₂ Mixture on Different Parameters

ISH - INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HIGH VOLTAGE ENGINEERING, KARUIZAWA, JAPAN, 24. – 29.08.2025

Schefer, H.; Bien, M.; Gülink, J.; Bösche, D.; Göing, J.; Mallwitz, R.; Friedrichs, J.

Investigations on Creepage Distances in Power Electronic Systems for Electrified Aircraft

IEEE ACCESS (VOLUME: 13) , JG.(2025), S. 28204 – 28247, ISSN: 2169-3536, DOI: 10.1109/ACCESS.2025.3537165

Grobler, J.; Gand, M.;

Winter, B. O.; Engel, B.

Laboratory Validation of Power Profiles for Inertia Provision by a Grid-Forming Inverter in the Low-Voltage Power Grid

9TH HYBRID POWER PLANTS & SYSTEMS WORKSHOP, ÅLAND ISLANDS, FINLAND, 03. – 04.06.2025

Nierenberg, M.; Meyer, T.;

Koch, M.; Kurrat, M.

Magneto-Optical MVDC Arcing Behavior: Investigation on a Model Vacuum Interrupter

ISDEIV- INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DISCHARGE AND ELECTRICAL INSULATION IN VACUUM, CHENGDU, CHINA, 21. – 26.09.2025

Meyer, T.; Kurrat, M.

Methodology for analysing post-arc currents of test circuit measurements in vacuum interrupters

12TH INTERNATIONAL WORKSHOP ON THE MECHANISMS OF VACUUM ARCS (MEVARC 2025), UPPSALA, SCHWEDEN, 01. – 06.06.2025

Meyer, T.; Flügel, K.; Cziumplik, D.; Hinz, M.; Kurrat, M.

Optical and electrical parameters for classifying arc mode and movement using TMF-contacts

12TH INTERNATIONAL WORKSHOP ON THE MECHANISMS OF VACUUM ARCS (MEVARC 2025), UPPSALA, SCHWEDEN, 01. – 06.06.2025

Methling, R.; Gortschakow, S.;

Uhrlandt, D.; Meyer, T.; Kurrat, M.

Optical and spectroscopic analysis of vacuum arcs in larger gaps

ISDEIV- INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DISCHARGE AND ELECTRICAL INSULATION IN VACUUM, CHENGDU, CHINA, 21. – 26.09.2025

Witt, F.; Hoffmann, M.; Kurrat, M.

Protection design for pole-to-pole faults in DC networks

EPE 2025, PARIS, FRANKREICH, 31.03. – 04.04.2025

Cziumplik, D.; Delachaux, T.; Kurrat, M.

Simulation and Experimental Validation of Magnetic Field Measurements in AMF Contacts

ISDEIV- INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DISCHARGE AND ELECTRICAL INSULATION IN VACUUM, CHENGDU, CHINA, 21. – 26.09.2025

Meyer, T.; Gentsch, D.; Kurrat, M.

Vacuum Contacts: Analysing Contact Lifespan for Enhanced Performance in Grids

28TH CONFERENCE AND EXHIBITION ON ELECTRICITY DISTRIBUTION (CIRED), GENF, SCHWEIZ, 16. – 19.06.2025

Veranstaltungen und Events 2024

Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat

17.01.2024

■ Neujahrsempfang VDE Braunschweig

22.01.–23.01.2024

■ ETG Q2 Höherauslastung von Betriebsmitteln, Nürnberg

29.01.2024

■ Putztag elenia – Laborinventur

08.02.2024

■ Forschungsaustausch TU Darmstadt, Darmstadt

05.–06.02.2024

■ Inter-oPEn kickoff in Aachen

27.02.2024

■ Erfahrungsaustausch der Niederspannungslabore, Leipzig

13.03.2024

■ Biannual ICA-C Meeting 2024, Hannover

19.03.–20.03.2024

■ Besuch Temes engineering in Otterfing

10.04.–11.04.2024

■ Advanced Battery Power, Münster

11.–12.04.2024

■ VDE Verteilnetztagung in Görlitz

18.04.2024

■ Doktorandinnentag, elenia

24.04.–26.04.2024

■ Forschungsaustausch TU Darmstadt und Messkampagne, Darmstadt

25.04.2024

■ Besuch Hannovermesse

25.04.2024

■ Zukunftstag

13.05.–15.05.2024

■ Leistungsschaltertests für Pfiffner in externem Leistungsprüffeld

14.05.–15.05.2024

■ DKE K124 Sitzung, Bonn

16.05.2024

■ Einladung zum Grillabend: Studierende & Professorinnen im Austausch

22.05.–24.05.2024

■ Pfingstexkursion

22.05.–23.05.2024

■ Besuch bei Infineon für Folgeprojekt

24.05.2024

■ CZC-Meeting, Ratingen

31.05.2024

■ Promotion Philipp Adler – Zweitprüfer

04.06.–05.06.2024

■ Forschungsaustausch TU Ilmenau, Ilmenau

06.06.–17.06.2024

■ Ideenexpo Hannover

07.06.2024

■ VDE Hansetag, Bremen

08.–16.06.2024

■ IdeenExpo, Hannover

13.06.2024

■ Erfahrungsaustausch der Professoren Fakultät 5

19.06.–20.06.2024

■ Hochschulentwicklungstage 2024, TU Braunschweig

30.06.–04.07.2024

■ ICD International Conference on Dielectrics, Toulouse, France

04.–05.07.2024

■ Projekttreffen mit Kooperationspartner ABB, Braunschweig

18.07.–19.07.2024

■ Forschungsaustausch mit INP Greifswald, BS

06.08.–08.08.2024

■ Projekttreffen mit Kooperationspartner Pfiffner, Schweiz

12.08.2024

■ Tenure Track Kommission

13.08.2024

■ Betriebsausflug 2024

19.08.–22.08.2024

■ ICHVE International Conference on High Voltage Engineering, Berlin

28.–30.08.2024

■ 9th ITG International Vacuum Electronics Workshop (IVEW) 2024, Bad Honnef

16.–17.09.2024

■ NEIS Konferenz

16.09.–18.09.2024

■ AG ET Workshop in Utecht

23.09.–24.09.2024

■ Projekttreffen GreEner Tech, Wuppertal

23.09.–24.09.2024

■ Klausurtagung EITP, Ilsenburg

25.09.–26.09.2024

■ Gemeinsame Messkampagne mit ABB

27.09.2024

■ Highlights der Physik – Floßfahrt, Hannover

01.10.2024

■ GIS-Anwendungsforum

Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel

06.10.2024

■ Tenure Track Kommission

11.10.2024

■ BMBF-Kick-off-Konferenz
Forschungssicherheit, Berlin

14.10.2024

■ Besuch Vertreter Hyosung

16.10.2024

■ Kooperationsvereinbarung Fakultät 5
mit Forschungsinstitut KERI (Südkorea)

22.10.–23.10.2024

■ NFF Workshop

24.10.–25.10.2024

■ Klausurtagung „Stadt der
Zukunft“ Königslutter,
Forschungsschwerpunkt TU BS

30.10.2024

■ Fakultäts-Entwicklungsgespräch
mit Präsidium

05.11.2024

■ VDE-Vorstands- und Beiratssitzung PTB

11.11.–13.11.2024

■ Leitung der VDE
Hochspannungstechnik, Berlin

18.11.–22.11.2024

■ Messkampagne INP

27.11.–29.11.2024

■ IBPC, Braunschweig

29.11.2024

■ Ideenwettbewerb
Klimastiftung, Stuttgart

03.12.–04.12.2024

■ Sitzung HTSL- Forschungsfeld
Hochtemperatursupraleiter, München

12.12.2024

■ Sitzung BMBF AG1
Forschungssicherheit

17.01.2024

■ Neujahrsempfang VDE
Braunschweig, Braunschweig

19.01.2024

■ Exkursion SMA

24.01.–25.01.2024

■ Tagung zukünftiger Stromnetze

05.03.–06.03.2024

■ Strategieworkshop EFZN, Goslar

13.03.2024

■ Statuskonferenz Thüringer
Energienetze, Erfurt

08.04.2024

■ Promotion Malte Schäfer – Zweitprüfer

18.04.2024

■ BMWK Roadmap Sysstab.

25.04.2024

■ VDE FNN Forum, Berlin

15.05.–16.05.2024

■ Göttinger Energietagung

05.06.2024

■ Exkursion Alstom, Salzgitter

06.06.–07.06.2024

■ FNN-Fördererkreissitzung, Berlin

18.06.2024

■ Einweihung H₂-Terminal, Braunschweig

19.06.2024

■ BMWK Sitzung Forum
Systemstabilität, Berlin

26.06.2024

■ Kick-Off-Treffen-PICNIC, Braunschweig

27.06.–28.06.2024

■ PV-Symposium Beiratssitzung, Stuttgart

02.07.–03.07.2024

■ Kick-Off-Konsortialtreffen
SysStab2030, Dortmund

17.07.2024

■ Pfendler – Zweitprüfer

23.09.–24.09.2024

■ Klausurtagung EITP, Ilsenburg

25.09.2024

■ VDE FNN-Netzcamp, Leipzig

07.10.–11.10.2024

■ Grid Integration Week, Helsinki

14.10.–15.10.2024

■ Kick-Off-Treffen TEN.efzn, Hannover

29.10.2024

■ Shridar Balasubramanian – Vorsitz

07.11.2024

■ Exkursion Landwind, Wolfenbüttel

13.11.–14.11.2024

■ Abschlusstreffen EU-Forschungsprojekt
ALPHEUS, Brüssel

18.11.–19.11.2024

■ Niedersächsische
Energietage, Hannover

22.11.2024

■ C2T Kick-Off-Workshop, Braunschweig

26.11.–27.11.2024

■ Projekttreffen PICNIC, Ettlingen

29.11.2024

■ Konsortialtreffen Verteilnetz
2030plus, Kassel

Veranstaltungen und Events 2025

Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat

15.01.–16.01.2025

■ PROSECCO-Workshop in Leuven

20.01.–24.01.2025

■ Messkampagne TU
Darmstadt, Darmstadt

22.01.2025

■ Neujahrsempfang VDE
Braunschweig, Braunschweig

05.02.–06.02.2025

■ Sitzung ETG Vorstand und
wissenschaftlicher Beirat, Regensburg

18.03.–19.03.2025

■ Projekttreffen GreEner-Tech,
Braunschweig

18.03.–20.03.2025

■ Mitarbeitergespräche, Bad Harzburg

31.03.–01.04.2025

■ NFF Strategieworkshop, Ilsenburg

31.03.–04.04.2025

■ EPE-Konferenz in Paris

01.04.–03.04.2025

■ Kraftwerk Batterie

03.04.–04.04.2025

■ Leitung der Sitzung ETG Q2
Hochspannungstechnik, Köln

03.04.2025

■ Zukunftstag

10.04.–11.04.2025

■ 2. DC Verteilnetztagung in Görlitz

28.04.–29.04.2025

■ Projekttreffen mit Kooperationspartner
Pfiffner, Braunschweig

06.05.–09.05.2025

■ Inter-oPEn kick off & Training
modules RWTH Aachen

08.05.2025

■ PCIM Ausstellung in Nürnberg

12.05.2025

■ Promotion Timo Meyer – Erstprüfer

13.05.–14.05.2025

■ Sitzung BK W3
„Elektroenergieversorgung und
nachhaltige Energiesysteme“, Chemnitz

20.–21.05.25

■ Forschungsaustausch mit TU
Ilmenau in Braunschweig

21.05.–22.05.2025

■ ETG Kongress 2025, Kassel

01.06.–06.06.2025

■ MeVArc – Mechanisms of
Vacuum Arcs, Schweden

02.06.2025

■ NES-Exkursion zu Enercity

05.06.2025

■ Einladung zum Grillabend: Studierende
& Professorinnen im Austausch

10.06.–11.06.2025

■ PROSECCO-Workshop in Braunschweig

10.06.–12.06.2025

■ Pfingstexkursion, Berlin

11.06.2025

■ Behördenstaffelmarathon

13.06.2025

■ 38th Current Zero Club
Plenary Meeting, Online

17.06.–18.06.2025

■ Inter-oPEn workshop “legal aspect
of HVDC” RUG Groningen

21.06.2025

■ Campus Xperience

26.06.2025

■ Sommerfest der Fakultät

30.06.–03.07.2025

■ PowerTech 2025 Konferenz in Kiel

07.07.–08.07.2025

■ HVDC TT workshop TUBS

08.07.–09.07.2025

■ Sitzung der Berufungskommission W3
„Elektromagnetische Verträglichkeit
und Resilienz“, Braunschweig

22.07.2025

■ Promotion Marc René Lotz – Erstprüfer

12.08.2025

■ Betriebsausflug, 2025

24.08.–29.08.2025

■ ISH – International Symposium on
High Voltage Engineering, Japan

09.09.–11.09.2025

■ AG ET-Workshop, Bremen

17.–18.09.2025

■ Hyosung – Besuch
Projektpartner, Südkorea

21.–26.09.2025

■ ISDEIV – International Symposium
on Discharge and Electrical
Insulation in Vacuum, China

23.09.2025

■ GIS-Anwendungsforum

01.10.–02.10.2025

■ 100-Jahr-Feier elenia

07.10.–09.10.2025

■ Klausurtagung EITP, Ilsenburg

08.10.–10.10.2025

■ IEEE PESS 2025

Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel

15.10.2025

■ Opening Ceremony of Hyosung Heavy Industries R&D Center Arnhem

05.11.–06.11.25

■ IBPC, Braunschweig

25.11.2025

■ Sitzung ETG Vorstand und wissenschaftlicher Beirat, Aachen

23.01.2025

■ Neujahrsempfang VDE Braunschweig, Braunschweig

29.01.–30.01.2025

■ Tagung Zukünftiger Stromnetze

17.02.2025

■ Kick-Off Verbundvorhaben GFI-Pilot Erfurt

04.03.–05.03.2025

■ EFZN Klausurtagung, Goslar

07.03.2025

■ Besuch des H₂-Termial Konsortium an der PTB, Braunschweig

10.03.–13.03.2025

■ PV-Symposium, Kloster Banz

17.03.2025

■ Konsortialtreffen SysStab2030, Stuttgart

19.03.2025

■ Abschlussveranstaltung DigENet I BMWK, Berlin

20.03.2025

■ Abschlusstreffen SiNED, Braunschweig

26.03.2025

■ Runder Tisch Elektromobilität BS-Energy

31.03.–01.04.2024

■ NFF-Strategieworkshop, Ilsenburg

03.04.2025

■ Zukunftstag

23.04.2025

■ Begrüßung neuer Studiendekane*innen und Vertreter*innen

05.05.2025

■ FNN-Forum, Berlin

09.05.2025

■ Plenarversammlung Fakultätentag, Kassel

13.05.–14.05.2025

■ Göttinger Energietage

20.05.2025

■ Grid Forming Seminar AVACON

21.05.–22.05.2025

■ ETG-Kongress, Kassel

22.05.–23.05.2025

■ FNN Fördererkreissitzung, Berlin

26.05.–27.05.2025

■ Konsortialtreffen NetFlexum PTB, Braunschweig

17.06.2025

■ Workshop BS-Netz

21.06.2025

■ H₂ Terminal Tag der offenen Tür

19.08.–21.08.2025

■ AG ES-Klausurtagung

02.09.–03.09.2025

■ Sitzung des wissenschaftlichen Beirats der PTB „Metrologie der Energiewende“

01.10.–02.10.2025

■ 100-Jahr-Feier elenia

06.10.–10.10.2025

■ Grid Integration Week, Berlin

15.10.–16.10.2025

■ FNN Netzcamp, Berlin

Beteiligung an der Selbstverwaltung 2024

Universität

MICHAEL KURRAT

- **Dekanatssitzung**
10.02. | 15.02. | 31.05. |
- **Dekanat**
15.02. | 17.03. | 06.06. | 22.09. |
- **BMBF-Forschungssicherheit (FoSi)**
- **Ethik-Kommission**
15.03. | 25.09. | 29.10. |

BERND ENGEL

- **Energiebeirat**
09.03. |
- **Nachhaltigkeitsrat**
11.01. | 20.01. | 17.02. | 17.03. |
21.04. | 12.05. | 16.06. | 07.07. |
25.08. | 22.09. | 02.11. | 12.12. |

Fakultät

MICHAEL KURRAT

- **Fachvertreter-Versammlungen (FVV)**
19.01. | 16.02. | 14.06. | 26.07. |
18.10. | 09.12. |
- **Fakultätsratssitzung (FKR) / Sonder FKR**
22.01. | 19.02. | 22.04. | 13.05. |
17.06. | 29.07. | 16.09. | 21.10. |
18.11. | 13.12. | 16.12. |
- **Fakultätsratssitzung (Gremien) außerplanmäßig**
03.02. |
- **Planungsrunde EITP**
02.02. | 17.05. | 05.07. | 30.09. |
- **Fakultätsrat EITP**

BERND ENGEL

- **Fachvertreter-Versammlungen (FVV)**
- **Fakultätsratssitzung**
24.01. |
- **Studienkommission ET/WIING-ET/NEEMO/ELSY/EMOB**
10.01. | 28.09. | 13.12. |
- **Prüfungsausschuss ET/EMOB/ELSY/NEEMO/QTEC**

elenia Institut

MICHAEL KURRAT

- **Geschäftsführender Institutsleiter**
- **Institutsrunde (Vorstand)**
Laufend – monatlich
- **Vorstandsrunde elenia**
Laufend – monatlich
- **Statussitzung (Mitarbeitenden-Versammlung)**
Laufend – monatlich
- **Projektmanagement Office**
Laufend – nach Bedarf
- **Teamleitersitzungen der AG Energietechnologien**
Laufend – monatlich
- **Novizengruppe (Doktorandenseminar)**
Laufend – monatlich
- **Mentorentreffen**
- **Mentorengruppe**
Einmal pro Semester
- **Studentisches Kolloquium**
Laufend – wöchentlich
- **Erstsemesterbegrüßung**
24.10. |

BERND ENGEL

- **Institutsrunde (Vorstand)**
Laufend – monatlich
- **Vorstandsrunde elenia**
Laufend – monatlich
- **Statussitzung (Mitarbeitenden-Versammlung)**
Laufend – monatlich
- **Projektmanagement Office**
Laufend – nach Bedarf
- **Teamleitersitzungen der AG Energiesysteme**
Laufend – monatlich
- **Mentorentreffen**
- **Mentorengruppe**
Einmal pro Semester
- **Studentisches Kolloquium**
Laufend – wöchentlich

Beteiligung an der Selbstverwaltung 2025

Universität

MICHAEL KURRAT

- **Ethik-Kommission**
- **BMBF-Forschungssicherheit (FoSi)**
28.05. | 17.06.–18.06. |
- **Berufungskommission W3 Thermodynamik, BS**
26.02.–28.02. |
- **Berufungskommission W3-Elektroenergieversorgung u. nachhaltige Energiesysteme, Chemnitz**
13.05.–14.05. |
- **Berufungskommission W3 Elektrochemie, BS**
21.02. |

BERND ENGEL

- **Energiebeirat**
27.04. | 06.12. |
- **Nachhaltigkeitsrat**
23.01. | 20.02. | 12.04. | 13.06. | 01.11. |

Fakultät

MICHAEL KURRAT

- **Fachvertreter-Versammlungen (FVV)**
24.01. | 21.02. | 21.03. | 25.04. | 16.05. | 13.06. | 11.07. | 15.08. | 12.09. |
- **Fachvertreter-Versammlungen Lehre (FVV-Lehre)**
19.02. | 11.03. | 23.04. |
- **Fakultätsratssitzung**
27.01. | 24.03. | 28.04. | 19.05. | 16.06. | 14.07. | 18.08. | 15.09. | 20.10. | 17.11. | 15.12. |
- **Planungsrunde EITP**
- **Berufungskommission W3 EMV**
04.03. | 08.07.–09.07. |

BERND ENGEL

- **Fachvertreter-Versammlungen (FVV)**
20.01. | 16.06. | 12.07. | 18.07. | 22.09. |
- **Fakultätsratssitzung**
24.07. |
- **Studienkommission ET/WIING-ET/NEEMO/ELSY/EMOB**
22.02. | 08.05. |
- **Prüfungsausschuss ET/EMOB/ELSY/NEEMO/QTEC**
- **Fachvertreter-Versammlungen (FVV)**
24.01. | 21.02. | 21.03. | 25.04. | 16.05. | 13.06. | 11.07. | 15.08. | 12.09. |
- **Studiendekan seit 04/2025**
Laufend – monatlich

elenia Institut

MICHAEL KURRAT

- **Geschäftsführender Institutsleiter**
- **Institutsrunde (Vorstand)**
Laufend – monatlich
- **Vorstandsrunde elenia**
Laufend – monatlich
- **Statussitzung (Mitarbeitenden-Versammlung)**
Laufend – monatlich
- **Projektmanagement Office**
Laufend – nach Bedarf
- **Teamleitersitzungen der AG Energietechnologien**
Laufend – monatlich
- **Novizengruppe (Doktorandenseminar)**
Laufend – monatlich
- **Mentorentreffen Mentorengruppe**
Einmal pro Semester
- **Studentisches Kolloquium**
Laufend – wöchentlich

BERND ENGEL

- **Institutsrunde (Vorstand)**
Laufend – monatlich
- **Vorstandsrunde elenia**
Laufend – monatlich
- **Statussitzung (Mitarbeitenden-Versammlung)**
Laufend – monatlich
- **Projektmanagement Office**
Laufend – nach Bedarf
- **Arbeitsgruppensitzung der AG Energiesysteme**
Laufend – quartalsweise
- **Teamleitersitzungen der AG Energiesysteme**
Laufend – monatlich
- **Mentorentreffen**
- **Mentorengruppe**
Einmal pro Semester
- **Studentisches Kolloquium**
Laufend – wöchentlich

Impressum

© 2025 Technische Universität Braunschweig
elenia Institut für Hochspannungstechnik
und Energiesysteme

Schleinitzstraße 23
38106 Braunschweig
Telefon +49 531 391-7700
Telefax +49 531 391-8106

elenia@tu-braunschweig.de
www.tu-braunschweig.de/elenia

Redaktion: Andreas Laufer, Mats Göhrmann, Julius Rieckmann, Timo Jelden, Nelly Gorkow, Peer König
Layout: Jakob Piest, jpgd.de
Fotos: Wenn nicht anders angegeben elenia/TU Braunschweig

Berichtszeitraum: 11/2023–06/2025



© Technische Universität Braunschweig
elenia Institut für Hochspannungstechnik
und Energiesysteme

Schleinitzstraße 23
38106 Braunschweig
Telefon +49 531 391-7700
Telefax +49 531 391-8106

elenia@tu-braunschweig.de
www.tu-braunschweig.de/elenia