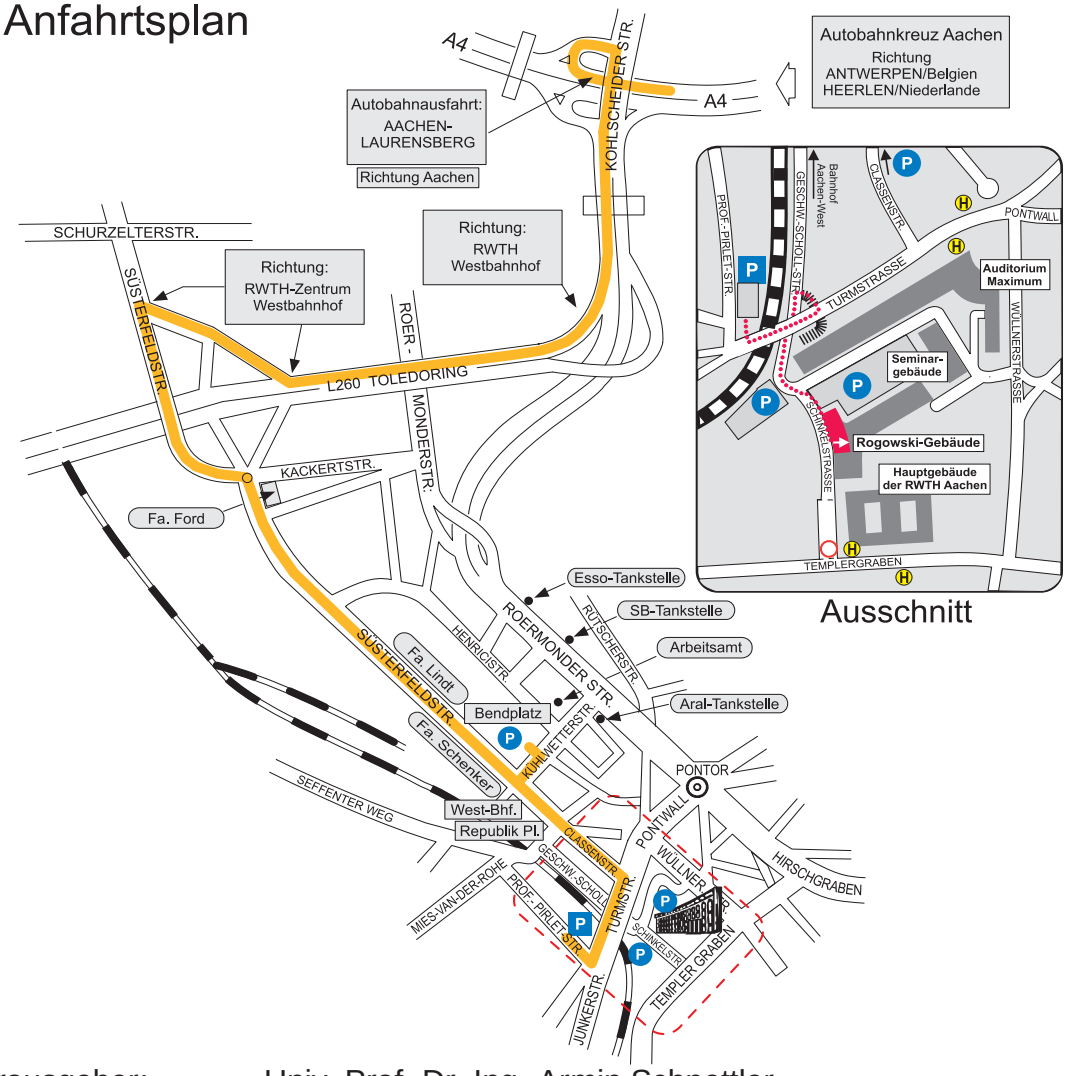
Jahresbericht

2008

Institut für Hochspannungstechnik
Schinkelstraße 2
52056 Aachen

Telefon: +49 241 80-94931
Fax: +49 241 80-92135
e-mail: post@ifht.rwth-aachen.de
Internet: www.ifht.rwth-aachen.de

Anfahrtsplan



Herausgeber: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Armin Schnettler
Institut für Hochspannungstechnik der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen
Redaktion: Dipl.-Ing. Th. Dederichs, Dipl.-Ing. A. Kurz
Redaktionsschluß: 31.12.2008

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Forschung am IFHT

Forschungsgebiete 10
Berichte aus der Forschungsgruppe Leistungsschalter 18
Berichte aus der Forschungsgruppe Isoliersysteme und Diagnostik 30
Berichte aus der Forschungsgruppe Nachhaltige Energieversorgung 48
Berichte aus der Forschungsgruppe Anlagentechnik und Asset Management 58
Berichte aus dem Lehrgebiet Gasentladungstechnik 70
Dissertationen 74
Projekt Intelligent Self-Describing Technical and Environmental Networks 82
Projekthaus Humtec 85

Lehre am IFHT

Vorlesungen und Praktika 88
Diplom-, Master- und Studienarbeiten 94
Seminare 105

Das Institut

Chronik 110
Veröffentlichungen 114
Exkursionen 117
Gründung der Hochspannungstechnischen Gesellschaft 122
Hochwissenschaftliches Kolloqium 123

Contents

Preface

Research at IFHT

Fields of Research 10
Scientific Reports of Research Group Circuit Breakers 18
Scientific Reports of Research Group Insulation Systems and Diagnosis 30
Scientific Reports of Research Group Sustainable Power Systems 48
Scientific Reports of Research Group Systems Engin. and Asset Management . . 58
Scientific Reports of Research Group Gas Discharge Engineering 70
PhD Theses 74
Project Intelligent Self-Describing Technical and Environmental Networks 82
Project-House Humtec 85

Teaching at IFHT

Lectures and Laboratories 88
Diploma- and Project Theses 2008 94
Seminars 105

The Institute

Chronicle 110
Publications 114
Excursions 117
Gründung der Hochspannungstechnischen Gesellschaft 122
Hochwissenschaftliches Kolloqium 123

Sehr geehrte Freunde des Instituts für Hochspannungstechnik,

der Jahresbericht 2008 erreicht Sie in neuem Gewand und erstmalig als Ausgabe unserer neuen Publikationsreihe „Aachener Beiträge zur Hochspannungstechnik“. Damit möchten wir regelmäßig und in neuer (zitierbarer) Form über unsere Forschungsarbeiten und -ergebnisse unterrichten und in eine noch engere Kommunikation mit Ihnen einsteigen.

Wir alle befinden uns in einem zunehmend schwierigeren wirtschaftlichen Umfeld, können jedoch weiterhin über sehr positive Entwicklungen am Institut für Hochspannungstechnik berichten.

1. *Zunächst sind die Einschreibezahlen in den Bachelor - Studiengängen „Elektrotechnik und Informationstechnik“ sowie „Wirtschaftsingenieur Elektrische Energietechnik“ nochmals gestiegen - auf jetzt über 660 neue Studierende. Besonders erfreut sind wir über einen mehr als 40%igen Anteil der elektrischen Energietechnik daran, der sich bereits in einer zunehmend großen Anzahl von Diplom- und Masterarbeiten widerspiegelt.*

2. *Unsere Forschungsthemen „Isoliersysteme und Diagnostik“, „Asset Management“, „Störlichtbögen“ und „Leistungsschalter“ werden weiterhin sehr gut von den Studierenden und unseren industriellen und akademischen Partnern angenommen. Hiermit verbunden ist auch ein um über 50% höherer externer Umsatz, der es uns ermöglicht, neben der Beschäftigung zusätzlicher Wissenschaftler auch die Modernisierung der apparativen Ausstattung voranzutreiben. Außergewöhnlich stark werden zudem die Themen der Forschungsgruppe „Nachhaltige Energieversorgung“ nachgefragt. Besonders im Fokus sind Fragestellungen zu „Technologien zukünftiger Energieversorgungsnetze“, „Dynamisierung der Auslastung von Netzen und Betriebsmitteln“ sowie der „Elektromobilität“ (speziell deren Netzintegration). Das sehr große Interesse sowie erfreulicherweise auch die damit verbundene Forschungsförderung führen dazu, dass wir uns im Jahr 2009 personell erheblich verstärken werden. Auch sind größere Investitionen in Diagnose-, Testsysteme und -anlagen vorgesehen, über die ich separat berichten werde.*

3. *Ich bin sehr glücklich darüber, dass wir den Kreis der Lehrbeauftragten um die Herren Dr.-Ing. Bernhard Thies, Geschäftsführer der DKE, sowie Dr.-Ing. Ralf Puffer, bis 31.12.2008 E.ON Netz GmbH und seit 1.1.2009 Akademischer Rat am Institut für Hochspannungstechnik, RWTH Aachen, erweitern konnten. Herr Dr. Thies hat die Vorlesungen „Schutzmaßnahmen“ und „Protective Measures“ übernommen, während Dr. Puffer die neue Vorlesung „Freileitungen“ gestaltet. Zudem konnten wir zwei Promotionen erfolgreich abschließen und mit den Herren Dr.-Ing. Thomas Smolka und Dr.-Ing. Junliang Wu zwei neue „Doktoren“ feiern.*

4. *Am 15. November 2008 wurde der Ehemaligen- und Förderverein „Hochspannungstechnische Gesellschaft an der RWTH Aachen“ gegründet. Es ist mir eine besondere Freude, dass der Anstoß hierzu direkt aus dem Kreis der Ehemaligen kam. Näheres entnehmen Sie bitte dem Beitrag im Jahresbericht sowie der Homepage www.htg-aachen.de.*

Neben diesen, für uns sehr positiven Entwicklungen geben mir die derzeitigen Vorgänge in der uns nahe stehenden Branche Anlass zur Sorge. Hierbei bin ich nicht über

die generellen wirtschaftlichen Entwicklungen oder Pressemitteilungen überrascht, da sich ein Eintrüben der Rahmenbedingungen und ein zu schneller Aufbau der weltweiten (Produktions-)Kapazitäten bereits vor geraumer Zeit andeuteten. Vielmehr bin ich über die hohe Geschwindigkeit beunruhigt, mit der die Auswirkungen direkt für unsere Absolventen und Praktikanten spürbar werden. Ich kann nur hoffen, dass sich die Zeiten der absoluten Einstellungsstopps und der Vernachlässigung des Nachwuchses Anfang/Mitte der 90er Jahre nicht wiederholen. Wie wir alle wissen, reagiert die Gruppe der Schüler bzw. der zukünftigen Studierenden sehr schnell... - hier müssen wir gemeinsam einen langfristig orientierten und für alle Betroffenen optimierten Weg finden.

Eine bekannte und immer latente Herausforderung ist die hohe Fluktuation der wissenschaftlichen Mitarbeiter an den Hochschulen. Diesem Umstand begegnen wir durch eine möglichst hohe „kritische Masse“ an Mitarbeitern und deren Einbindung in (interdisziplinären) Forschungsprojekten und einem damit verbundenen, intensiveren Informationsaustausch. Zudem beabsichtigen wir, durch eine intensivere Betreuung der Doktoranden und einer Reduktion der Belastung durch Lehre, Administration und sonstige zu erbringende Dienstleistungen, die Promotionszeiten auf vier Jahre zu reduzieren, um im fünften Jahr eine intensive Konzentration auf die (Weiter-)Entwicklung und Bearbeitung von Forschungsprojekten und -anträgen zu erreichen.
Während sieben Wissenschaftler im Jahr 2008 das Institut planmäßig verlassen haben (Frau Phadungthin, die Herren Dr. Heil, Dr. Wu, Macharey, Margiel, Tröger, Wirz) konnten wir sechs neue wissenschaftliche Mitarbeiter in das IFHT integrieren (Frau Strauchs, die Herren Brammer, Pollok, Roggendorf, Scheufen, Splettstößer). Allen Ehemaligen wünsche ich persönlich viel Erfolg, Gesundheit und Glück auf ihrem weiteren Lebensweg und bedanke mich für die gemeinsame Zeit und das Erreichte. Gleichzeitig freue ich mich auf die weitere Zusammenarbeit mit Ihnen und natürlich den neuen Mitarbeitern, die letztlich für den neuen Geist und die zukünftigen Inhalte des „IFHT“ stehen.

Mehr detailliertere Informationen über das vergangene Jahr entnehmen Sie bitte diesem „Band 9“ der Aachener Beiträge zur Hochspannungstechnik. Natürlich empfehle ich einen Blick auf unsere Homepage, die aktueller über unsere Arbeiten berichten kann (siehe www.ifht.rwth-aachen.de). Für die vielen Rückmeldungen zum letzten Jahresbericht bedanke ich mich - in der Hoffnung, dass uns auch diesmal Ihre Rückmeldungen, Anregungen und Beiträge erreichen, die uns näher an Sie und Sie näher an uns binden sollen.

Ich bedanke mich bei Ihnen allen, den Mitarbeitern, Freunden und Partnern für Ihren Einsatz, das Vertrauen und die außerordentlich angenehme Zusammenarbeit.

Auf eine weitere intensive Zusammenarbeit freue ich mich und grüße Sie herzlich.

Ihr

Aachen, im März 2009

Dear friends of the Institute for High Voltage Technology,

This annual report is presented to you in a completely new form and for the first time as an issue of the new series "Aachener Beiträge zur Hochspannungstechnik" (Aachen Contributions to High Voltage Technology). Thus we want to inform you regularly and in a new (citeable) way about our research and our results and engage in better communication with you.

Although we find ourselves in an increasingly difficult economic situation, we can still inform you about very positive developments at the Institute for High Voltage Technology.

1. *The number of Bachelor students in "Electrical Engineering and Information Technology" and "Industrial Engineer for Electrical Energy" has again increased up to 660 new students. We are particularly pleased that 40% of these students are studying Electrical Energy Technology. This is already leading to a higher number of Diploma and Master theses.*

2. *Our fields of research, "Insulation Systems and Diagnosis", "Asset Management", "Fault Arcs" and "Circuit Breakers" are very popular with the students and are also received well by our partners in industry and academia. Closely connected to this is a 50% increase in external revenues which enables us to employ additional researchers and improve the modernization of our technical equipment. The topics of the research department for "Sustainable Power Systems" are in particularly high demand from the students. A special focus here is on "Technologies for future Energy Systems", "Dynamic Rating of Power Grids and Power Equipment" and "Electric Mobility" (with a special focus on its integration into the power grid). Together with this high demand the funding for the research has increased and we can therefore also increase the number of researchers in this field in 2009. Moreover, we plan substantial investments in diagnosis and test systems and test equipment on which I will inform you separately.*

3. *I am very happy that we were able to enlarge the number of our visiting lecturers. Dr.-Ing. Bernhard Thies, CEO of DKE, is now giving the lectures on "Schutzmaßnahmen" and "Protective Measures". Dr.-Ing. Ralf Puffer, who worked for E.ON until 31.12.2008 has joined our institute as Academic Councillor on 01.01.2009 and is now teaching "Freileitungen" (overhead lines). Moreover, we are happy that Dr.-Ing. Thomas Smolka and Dr.-Ing. Junliang Wu have successfully completed their PhD theses.*

4. *On 15.11.2008 we founded the "Hochspannungstechnische Gesellschaft an der RWTH Aachen" (High Voltage Society at the RWTH Aachen). The initiative for the foundation of this Society for alumni and supporters of the Institute for High Voltage Technology came from the alumni themselves. I am very proud of the alumni's loyalty. More information can be found in the contribution in the annual report and on the homepage www.htg-aachen.de*

Besides those very positive news, there are other developments in our sector which appear quite serious. In this respect it is not the general economic development and news that trouble me as there had already been signs for some time that the worldwide increase in (production) capacities was too rapid and that economy would eventually slow down. Rather I am shocked about the immediate effect of these developments on our students, making it much harder for

them to find jobs and internships. I can only hope that the situation from the early nineties with the complete hiring freeze and thus neglect of encouraging young people to become engineers, does not happen again. As we all know, pupils and future students are very sensitive towards such developments. Therefore we have to find a way together to help all persons concerned and improve the situation in the long run.

A very well known challenge is the high degree of fluctuation of researchers in academia. We try to react by creating a "critical mass" of researchers and by involving them in (interdisciplinary) research projects and thereby in an intensified exchange of information. Moreover, we aim at reducing the time to complete the PhD thesis to four years, by reducing the workload required for teaching, administration and other duties. Thus the fifth year of the researcher's contract can be used for the improvement of research projects and for the development and acquisition of new ones.
In 2008 seven researchers left the Institute as intended (Mrs. Phadungthin, Mr. Heil, PhD, Mr. Wu, PhD, Mr. Macharey, Mr. Margiel, Mr. Tröger, Mr. Wirz) and at the same time we recruited six new researchers (Mrs. Strauchs, Mr. Brammer, Mr. Pollok, Mr. Roggendorf, Mr. Scheufen and Mr. Splettstößer). I wish those who left us all the best for their future careers and I am looking forward to working together with our new researchers who will help shaping the future of the "IFHT".
For more detailed information about the last year, check up the "issue 9" of the Aachen Contributions to High Voltage Technology. Additionally, I recommend our homepage (www.ifht.rwth-aachen.de) which can provide more up-to-date information about our research. I want to thank those who gave us feedback on the last annual report in the hope that you contribute again this year with feedback, ideas and further comments. In this way we will hopefully be able to cooperate even better and improve the relationship between our institute and you.

I want to thank all of you, our employees and researchers and our friends and partners for the dedication, the faith and for the extraordinarily pleasant cooperation.

I am looking forward to further intensive cooperation.

Yours

Aachen, March 2009

Berichte aus der Forschung
Dissertationen

Research at IFHT
PhD Theses

Forschungsgebiete

Forschungsgruppe „Leistungsschalter“

Gruppenleiter: Dipl.-Ing. Jan Christoph Kahlen

Kurzbeschreibung:
Leistungsschalter arbeiten als Schalt- und Sicherheitselemente in elektrischen Energieversorgungsnetzen. In der Forschungsgruppe werden die physikalischen Grundlagen dieser Schalter eingehend untersucht. Im Forschungsgebiet Selbstblas-Leistungsschalter werden grundlegende experimentelle Untersuchungen wie Druckmessung, Bestimmung der Grenzausschaltleistung, optische Untersuchungen und Messung der Gasströmung in der Druckkammer durchgef|hrt. Dabei wird sowohl das bislang bevorzugt eingesetzte SF_6 als auch mögliche Alternativen wie z.B. CO_2 untersucht. Weiteres Forschungsgebiet sind die Untersuchung der dielektrischen Eigenschaften von Heißgas-Strömungen sowie die Untersuchung neuer Schaltgeometrien. Die experimentell gewonnenen Daten werden zur Verifikation von MHD-Simulationen eingesetzt. Die Schwerpunkte im Simulationsbereich liegen in der Berechnung der Hochstromphase (abbrandbestimmter Lichtbogen), des Stromnull- und Nachstrombereichs und in der Entwicklung leistungsfähiger Strahlungsmodelle. Durch die enge Kopplung zwischen Experiment und Simulation ist es möglich, Simulationen zu verifizieren und auch Experimente am Computer zu konzipieren.

Gruppenmitglieder:
Dipl.-Ing. Matthias Hoffacker ∗ Dipl.-Ing. Jan Christoph Kahlen ∗ Dipl.-Ing. Andreas Kurz ∗ M. Sc. Piotr Margiel ∗ Dipl.-Ing. Ming-Chark Tang
Studentische Hilfskräfte:
Stefan Buß ∗ Daniel Eichhoff ∗ Arne Güttler ∗ Tim Kubiczek ∗ Andreas Mannebach ∗ Gregor Nikolic ∗ Tilman Schmidt

Forschungsgruppe „Isoliersysteme und Diagnostik“

Gruppenleiter: Dipl.-Ing. Michael Keßler

Kurzbeschreibung:
Die Forschungsgruppe bearbeitet ein weites Themengebiet von der Entwicklung neuartiger Isolierstoffe über die Zustandsbewertung von Isoliersystemen mittels verschiedener Diagnosemethoden bis hin zu nanostrukturierten Isolierstoffoberflächen. Bei den Untersuchungen zu Hybridisoliersystemen stehen die syntaktischen Schäume als neuartige Isolierstoffe mit niedriger spezifischer Dichte im Vordergrund. Besonderes Augenmerk wird auf die Korrelation der Spannungsfestigkei und der Haftung zwischen Mikrohohlkugeln als Füllstoff und der Matrix gelegt. Auf dem Gebiet der Diagnostik steht die Zustandsbewertung polymerer Isoliersysteme mittels Ultraschall im Mittelpunkt. Neben der Detektion von eingeschlossenen Fehlstellen in verschiedenen Materialien wie Elastomeren (z.B. Muffenkörper) können zudem Grenzflächen- und Vernetzungsprobleme nachgewiesen werden. Eine neue Anwendung der Ultraschalldiagnostik stellt die Temperaturmessung an inneren Grenzflächen dar.

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt liegt in der Verbesserung der Effizienz von Zündsystemen mittels „Multisparkzündung“. Dabei wird die Spule derart betrieben, dass anstelle eines konzentrierten Einzelzündfunkens viele kurze Entladungen in serieller Folge erzeugt werden, was eine gleichmäßige Zündung des Kraftstoff-Luftgemisches sicherstellen soll.

Gruppenmitglieder:
Dr.-Ing. Bernhard Heil (bis 31.03.2008) ∗ Dipl.-Ing. Michael Keßler ∗ M. Sc. Andrey Mashkin ∗ Dipl.-Ing. Christoph Roggendorf (seit 02.06.2008) ∗ Dipl.-Ing. Gregor Schütte (seit 07.04.2008) ∗ Dipl.-Ing. Sascha Schulte (Daimler AG) ∗ Dipl.-Ing. Anja Strauchs (seit 02.06.2008) ∗ Dipl.-Ing. Alexander Tröger (bis 31.01.2008) ∗ Dipl.-Ing. Torsten Wirz (bis 30.04.2008) ∗ M. Sc. Junliang Wu
Studentische Hilfskräfte:
Julian Becker ∗ Dominik Böcker ∗ Sepideh Doroudian ∗ Alexis Kamewe ∗ Thomas Nemeth ∗ Christoph Schneider ∗ Mathias Schöneberger ∗ Parsa Tavassoli ∗ Daniel Winkel

Forschungsgruppe „Nachhaltige Energieversorgung“

Gruppenleiter: Dipl.-Ing. Thomas Smolka

Kurzbeschreibung:
Die Struktur der Energieversorgungssysteme wird sich durch den internationalen Stromhandel, regional und überregional durch Windenergieeinspeisung, sowie durch vermehrte Leistungseinspeisung aus (dezentralen) regenerativen Energiewandlungseinheiten (DEA) verändern. Einen entscheidenden Beitrag können dazu in Zukunft dezentrale BlockHeizKraftWerke (BHKW) durch eine gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung leisten. Bislang ist allerdings nicht ergründet, für welche Gebiete und Lastflussdichten solche Systeme am (öko-)effizientesten eingesetzt werden können.
Zukünftig sind unter Berücksichtigung der geplanten Offshore Windparks in Deutschland verstärkt Netzengpässe zu erwarten. Deshalb werden Maßnahmen zur Steigerung der Übertragungskapazität wie das Freileitungsmonitoring oder der Austausch von konventionellen Leiterseilen durch Hochtemperaturfreileitungsseile vor dem Hintergrund der technischen-wirtschaftlichen Machbarkeit auf ihre Umweltwirkungen untersucht.
Mit Hilfe von selbst entwickelten Bewertungsmethoden und Systemmodellen (inkl. einer Ökobilanzierung nach ISO Norm 14040/44) werden Energieversorgungsnetze sowie deren Betriebsmittel und Anlagen unter technisch-ökologisch-wirtschaftlichen Rahmenbedingungen untersucht und ihre Ökoeffizienz optimiert.

Gruppenmitglieder:
Dipl.-Ing. Thomas Dederichs ∗ Dipl.-Ing. Uwe Macharey ∗ M. Sc. Thomas Pollok (seit 01.08.2008) ∗ Dipl.-Ing. Thomas Smolka ∗ Dipl.-Ing. Martin Scheufen (seit 01.10.2008)
Studentische Hilfskräfte:
Georg Hörning ∗ Stefan Krengel ∗ Julian Langstädtler ∗ Cora Sophie Petino ∗ Fabian Potratz ∗ Stephan Raths ∗ Bartholomäus Wasowicz

Forschungsgruppe „Anlagentechnik und Asset Management“

Gruppenleiter: Dipl.-Ing. Stefan Federlein

Kurzbeschreibung:
Asset Management, dessen wesentliches Ziel die optimale Ausnutzung von Betriebsmitteln bei gleichzeitig optimierten Instandhaltungszyklen darstellt, ist eines der Themen in diesem Forschungsbereich. Zur Optimierung des Betriebes von elektrischen Energieversorgungsnetzen ist es notwendig, die Systemzustände sowie den technischen Zustand von Hochspannungs-Betriebsmitteln zu bewerten, damit eine gesamtkostenoptimale Instandhaltungs- und Erneuerungsstrategie realisiert werden kann. Durch die Entwicklung von Alterungs- und Zustandsmodellen soll das zukünftige Störungsverhalten von Betriebsmitteln und das Ende deren Lebensdauer ermittelt werden, wobei die betriebsmittelspezifischen Einflussfaktoren berücksichtigt werden müssen. Weiterhin wird der Einfluss verschiedener Instandhaltungsmaßnahmen sowie einer veränderten Instandhaltungsstrategie auf das Betriebsmittelverhalten untersucht. Um auch die ökonomischen Aspekte des Asset Managements zu integrieren, werden zusätzlich verschiedene Szenarien unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten betrachtet. Im Bereich der Anlagentechnik stehen derzeit Energiekabel und Freileitungen im Mittelpunkt. Mit verschiedenen Industriepartnern wird an Hand von Machbarkeits-Studien an Lösungen komplexer Problemstellungen, wie z.B. der Minimierung von Leitungsgeräuschen oder der Entwicklung von Spezialkabeln, gearbeitet.

Gruppenmitglieder:
Dipl.-Ing. Stefan Federlein ∗ M. Sc. Tirinya Cheumchit ∗ Dipl.-Ing. Christian Hille ∗ M. Sc. Rattanakorn Phadungthin ∗ Dipl.-Ing. Michael Rösner (Areva Schorch GmbH) ∗ Dipl.-Ing. Uwe Zickler (FGH e.V.)
Studentische Hilfskräfte:
Alexander Gitis ∗ Klaus Düren ∗ Michael Kippen ∗ Tawan Noimetanasarn ∗ Cornelius Plath ∗ Thomas Vogel

Lehrgebiet „Gasentladungstechnik“

Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Gerhard Pietsch

Kurzbeschreibung:
Störlichtbögen in elektrischen Anlagen bewirken einen Temperatur- und Druckanstieg in Schaltanlagen und -gebäuden. Die Störlichtbogensicherheit kann im Prinzip auf zwei Wegen nachgewiesen werden, experimentell durch Störlichtbogenprüfungen und theoretisch über Druckberechnungen. Druckberechnungen haben den Vorteil, dass sie auch für solche Anwendungen durchgeführt werden können, für die keine experimentelle Möglichkeiten vorliegen z.B. wenn bereits im Plannungsstadium Auswirkungen auf Gebäude zu ermitteln sind. Die vorhandenen Berechnungsverfahren sollen u.a. im Hinblick auf SF_6-isolierte Anlage erweitert werden. Hierbei treten veränderliche SF_6-Luft-Gemische im Entlastungsraum auf. Durch Vergleich mit vorhandenen Messergebnissen kann das erweiterte Berechnungsverfahren evaluiert werden. Eine weitere Problematik betrifft den Ersatz von SF_6 durch Luft aus Gründen des Umweltschutzes bei der Prüfung von SF_6-isolierten Schaltanlagen. Hier

soll herausgefunden werden, ob Bedingungen angebbar sind, unter denen Prüfungen mit Luft solche mit SF_6 ersetzen können.

Gruppenmitglieder:
M. Sc. Kittipong Anantavanich
Studentische Hilfskräfte:
Polson Keeratibumrungpong ∗ Jochen Roder

Fields of Research

Research Group “Circuit Breakers”

Manager: Dipl.-Ing. Jan Christoph Kahlen

Short description of the research topics:
Circuit breakers serve as important switching and protection devices in electrical power systems. Experimental investigations and numeric simulations are performed to analyse their switching performance. Basic investigations of self-blast circuit breakers such as measurement of the pressure build up, determination of the thermal performance, optical investigations of the electric arc and the gas flow inside the pressure chamber are performed. Both SF_6 which is mostly used today and CO_2 which might be an alternative to SF_6 are investigated. A new fiel of research is the investigation of the dielectric properties of hot gases. In 2007 a new laboratory has been built for these investigations. The results taken from the experiments are used for the verification of the MHD-simulations. Both simulations of the high current phase (ablation controlled arcs) and the current zero and post arc current are performed. Due to the link between simulations and experiments, simulations can be verified but also experiments can be designed by using the simulations.

Members of the group:
Dipl.-Ing. Matthias Hoffacker ∗ Dipl.-Ing. Jan Christoph Kahlen ∗ Dipl.-Ing. Andreas Kurz ∗ M. Sc. Piotr Margiel ∗ Dipl.-Ing. Ming-Chark Tang
Student assistants:
Stefan Buß ∗ Daniel Eichhoff ∗ Arne Güttler ∗ Tim Kubiczek ∗ Andreas Mannebach ∗ Gregor Nikolic ∗ Tilman Schmidt

Research Group “Insulation Systems and Diagnosis”

Manager: Dipl.-Ing. Michael Keßler

Short description of the research topics:
The research group covers a wide variety of technical challenges: ranging from the development of new insulating materials, condition assessment of insulating systems by means of different diagnostic methods up to nano-structured silane coatings of insulation surfaces. In the field of hybrid insulation systems, syntactic foam as a new insulating material with low specific density is in the main focus. Especially a possible correlation of the dielectric strength and the adhesion between microspheres as filler and the matrix is investigated. In the field of diagnosis, the assessment of polymeric insulation systems by using ultra sound is in focus. Besides the detection of small impurities in different materials like elastomerics (e.g. cable joints), boundary layers between two different materials and inhomogeneous cross-linking are detectable. A new application of ultra sound diagnosis is the temperature measurement at inner interfaces. An efficiency advancement of ignition systems via “Multi-

sparc Ignition" is a new research field of this group. Instead of one single sparc, many short discharges are ignited in series to assure a steady ignition of the fuel-air mixture.

Members of the group:
Dr.-Ing. Bernhard Heil (until 31.03.2008) ∗ Dipl.-Ing. Michael Keßler ∗ M. Sc. Andrey Mashkin ∗ Dipl.-Ing. Christoph Roggendorf (since 02.06.2008) ∗ Dipl.-Ing. Gregor Schütte (since 07.04.2008) ∗ Dipl.-Ing. Sascha Schulte (Daimler AG) ∗ Dipl.-Ing. Anja Strauchs (since 02.06.2008) ∗ Dipl.-Ing. Alexander Tröger (until 31.01.2008) ∗ Dipl.-Ing. Torsten Wirz (until 30.04.2008) ∗ M. Sc. Junliang Wu
Student assistants:
Julian Becker ∗ Dominik Böcker ∗ Sepideh Doroudian ∗ Alexis Kamewe ∗ Thomas Nemeth ∗ Christoph Schneider ∗ Mathias Schöneberger ∗ Parsa Tavassoli ∗ Daniel Winkel

Research Group "Sustainable Power Systems"

Manager: Dipl.-Ing. Thomas Smolka

Short description of the research topics:
The structure of future power grids will be modified by international power trading, by local and national wind energy supply as well as by integrating more decentralized, renewable power supply units. However, it is not yet fully understood in which areas and under which preconditions, such as power flow heat demand, these systems shall be installed and could be efficiently used with minimum impact on the environment.
Additionally, taking into account the planned offshore windparks, in the future bottle-necks will occur more often. Thus, approaches come up to increase the transmission line capacity. Environmental impacts of these approaches like transmission line monitoring or conductor replacement with high temperature conductors are assessed against the backgroung of technical-economical feasability.
With new assessment methods and system models for evaluating power grids (including Life Cycle Assessment according to ISO 14040/44), future power grids and their components are analysed under technical-economical and ecological conditions with the aim to increase the eco-efficiency of these systems.

Members of the group:
Dipl.-Ing. Thomas Dederichs ∗ Dipl.-Ing. Uwe Macharey ∗ M. Sc. Thomas Pollok (since 01.08.2008) ∗ Dipl.-Ing. Thomas Smolka ∗ Dipl.-Ing. Martin Scheufen (since 01.10.2008)
Student assistants:
Georg Hörning ∗ Stefan Krengel ∗ Julian Langstädtler ∗ Cora Sophie Petino ∗ Fabian Potratz ∗ Stephan Raths ∗ Bartholomäus Wasowicz

Research Group "Systems Engineering and Asset Management"

Manager: Dipl.-Ing. Stefan Federlein

Short description of the research topics:
Asset Management is one of the main topics in this research group. Its basic aim is the optimum utilisation of assets combined with a good compromise in terms of maintenance strategies. For that kind of improvement in servicing electrical power systems, an evaluation of the system and the technical status of its equipments are required. By using new strategies for maintenance and replacement, we strive to achieve a minimum value of total costs. The prospective failure behaviour of equipment and the end of its lifetime could be determined by the development of ageing and status model with considering the influencing factors of specific equipment. Furthermore, the influences of different maintenance measures as well as a modified maintenance strategy on the equipment are investigated. In order to integrate the economic aspects of asset management, additional scenarios are considered under economic points of view. Additionally, in the scope of systems engineering, energy cables and overhead lines are currently emphasized. Together with various industrial partners, we strive for solutions of complex problems, e.g. the minimum of line noise or the development of special power cables.

Members of the group:
Dipl.-Ing. Stefan Federlein ∗ M. Sc. Tirinya Cheumchit ∗ Dipl.-Ing. Christian Hille ∗ M. Sc. Rattanakorn Phadungthin ∗ Dipl.-Ing. Michael Rösner (Areva Schorch GmbH) ∗ Dipl.-Ing. Uwe Zickler (FGH e.V.)
Stud. Mitarbeiter:
Alexander Gitis ∗ Klaus Düren ∗ Michael Kippen ∗ Tawan Noimetanasarn ∗ Cornelius Plath ∗ Thomas Vogel

Field of Instruction and Research "Gas Discharge Engineering"

Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Gerhard Pietsch

Short description of the research topics:
Fault arcs in electrical installations cause temperature and pressure rise in switchgears and switchgear buildings. In principle, fault arc safety can be proved experimentally by fault arc tests and theoretically by pressure rise calculations. The advantage of pressure rise calculation is that it can be performed with applications, for which no experimental possibilities are available, e.g. when the influence of pressure rise on buildings is investigated during the design of a substation. The existing pressure calculation methods will be extended particularly for SF_6-insulated installations. In this case, changing SF_6-air mixtures in the relief room have to be taken into account. The extended calculation method can be evaluated by comparing calculated with experimental results. A further problem is related to the replacement of SF_6 by air for tests of SF_6-insulated switchgear due to environmental concern. This

task is to find out, whether there exist possibilities to replace tests with SF_6 by those with air.

Members of the group:
M. Sc. Kittipong Anantavanich
Student assistants:
Polson Keeratibumrungpong ∗ Jochen Roder

Untersuchung von Leistungsschalter-Modellanordnungen mit alternativer Lichtbogengeometrie

In Selbstblas-Leistungsschaltern ist der Düsenabbrand wesentlich für den Druckaufbau sowie die Beblasung und Löschung des Lichtbogens. Heutige Selbstblas-Leistungsschalter sind rotationssymmetrisch aufgebaut, so dass der Lichtbogen in zylindrischen Düsen geführt wird. Im Rahmen eines laufenden Forschungsprojektes werden alternative Lichtbogengeometrien untersucht. Schwerpunkt dieses Berichtes ist eine "Hohlbogenanordnung", die aus einer zylindrischen Düse und einem Kern im Zentrum dieser Düse besteht. Düse und Kern bilden eine Lichtbogenzone in Form eines Ringspaltes. Theoretische und experimentelle Untersuchungen anhand einer vereinfachten Prüflingsgeometrie zeigen, dass durch die Hohlbogenanordnung sowohl der Düsenabbrand als auch der Druckaufbau deutlich erhöht wird.

Einleitung

Das Schaltelement eines Leistungsschalters ist der Lichtbogen. In Selbstblas-Leistungsschaltern wird die im Lichtbogen umgesetzte Energie dazu genutzt, Druck in der Heizkammer aufzubauen, so dass der Lichtbogen später durch eine Gasströmung beblasen, dadurch gekühlt und im Stromnulldurchgang zum Verlöschen gebracht wird. Durch den Lichtbogen wird Material von den Isolierstoffdüsen abgebrannt. Dieser Vorgang ist entscheidend für den Druckaufbau und hat großen Einfluss auf das Schaltvermögen von Leistungsschaltern. Die Abbrandrate des Düsenmaterials kann durch die folgende Gleichung beschrieben werden:

$$\frac{dm}{dt} = \nu \, \frac{U \cdot I}{h}$$

In dieser Gleichung ist ν der Anteil der Lichtbogenenergie, der auf die Düsenoberfläche trifft. Durch h wird die Verdampfungsenthalpie des Düsenmaterials, mit U und I die Spannung bzw. der Strom gekennzeichnet. Konventionelle Leistungsschalter sind rotationssymmetrisch aufgebaut, so dass der Lichtbogen in Düsen mit zylindrischem Querschnitt gezündet wird. Typische Werte von ν liegen für diese Geometrien bei 0,5. Im Hinblick auf ein verbessertes Schaltvermögen ist ein erhöhter Abbrand vorteilhaft. Im Rahmen des hier vorgestellten Forschungsprojektes wird eine Testgeometrie, die aus einer zylindrischen Düse und einem zusätzlichen Abbrandelement im Zentrum dieser Düse besteht, dimensioniert, aufgebaut und untersucht. Es wird angenommen, dass der Lichtbogen in dieser Geometrie die Form eines Hohlzylinders in dem aus Düse und Kern gebildeten Ringspalt annimmt. Da ein Energietransport sowohl zur äußeren Düse als auch zum Kern erfolgt, ist ein höherer Massenabbrand und ein höherer Druckaufbau als in konventionellen Geometrien zu erwarten [1]. Die im Lichtbogen umgesetzte Energie, der Druckaufbau, der Massenabbrand und die Lichtbogenform stellen den Schwerpunkt der experimentellen Untersuchungen und Simulationen dar.

Theoretische und experimentelle Untersuchungen

Zur Untersuchung der physikalischen Prozesse in verschiedenen Düsenanordnungen einerseits sowie zur Vorbereitung der experimentellen Untersuchungen andererseits

werden dreidimensionale CFD Simulationen durchgeführt. Dabei werden das DOM Strahlungsmodell und das Kato-Launder-k-ϵ Turbulenzmodell angewandt. Der PTFE Abbrand wird, wie in [2] beschrieben, als Funktion der Strahlungsflussdichte implementiert. Zur Initialisierung des Lichbogens zwischen den Elektroden wird während einer Millisekunde ein zylindrisches Gebiet mit hoher Leitfähigkeit (1000 S/m) innerhalb des Ringspaltes definiert. Die Simulationen werden für eine Halbperiode eines sinusförmigen Stromens (50 Hz) mit einer Amplitude von 12 kA durchgeführt. Die folgenden Parameter werden im Hinblick auf ihren Einfluss auf den Lichbogen untersucht:

- Radius der äußeren Düse und Radius des Kerns;
- Weite des Ringspaltes und Querschnittsfläche;
- Magnetfelder und
- Asymmetrien der Geometrie.

Abbildung 1 zeigt eine technische Zeichnung der für die experimentellen Untersuchungen verwendeten Prüflinge. Der Lichtbogen wird mittels eines dünnen Kupferdrahtes mit einem Durchmesser von 0,5 mm gezündet. Dieser wird zwischen den Elektroden befestigt und verdampft, wenn die Prüfanordnung mit hohem Strom beansprucht wird. Da für die hier untersuchten Größen (Lichtbogenenergie, PTFE Abbrand und Druckaufbau) die Hochstromphase einer Abschaltoperation maßgeblich ist, wird nur der Hochstromkreis des in [3] beschriebenen Prüfkreises nach Weil-Dobke für die Experimente eingesetzt. Dabei werden Strom (koaxialer Shunt), Lichtbogenspannung (Tektronix Taskopf) und Druckaufbau in der Düse (Kistler Drucksensor) gemessen. Messungen werden sowohl an Hohlbogenanordnungen als auch an zylindrischen Standarddüsen mit Strömen von 8,3 kA_{Peak} und 12 kA_{Peak} durchgeführt.

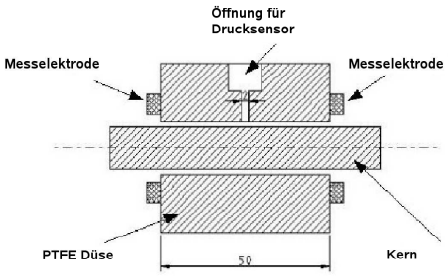


Abb. 1: Technische Zeichnung des Prüflings

Ergebnisse und Diskussion

Die Tabelle in Abbildung 2 enthält eine Übersicht der experimentellen Ergebnisse für Düsenanordnungen mit einer Querschnittsfläche von 78.54 mm^2. Bei den angegebenen Werten handelt es sich um Mittelwerte aus den jeweiligen Testserien.

	konventionelle Düse (r = 5 mm)	Hohlbogendüse (r_a= 8 mm, r_i= 6.24 mm)
I_{peak} [kA]	12.0	12.5
U_{peak} [kV]	0.85	1.05
E [kJ]	60.1	78.8
Δp_{peak} [bar]	30.7	54.0
Δm [mg]	813	1718

Abb. 2: Experimentelle Ergebnisse für Düsengeometrien mit identischer Querschnittsfläche (78.54 mm^2)

Es ist deutlich zu erkennen, dass Lichtbogenspannung, umgesetzte Energie, Druckaufbau und abgebrannte Masse in konventionellen Düsengeometrien signifikant niedriger sind als in den Hohlbogenanordnungen. Beim Vergleich unterschiedlicher Hohlbogenanordnungen kann festgestellt werden, dass ein größerer Radius r_a der äußeren Düse, entsprechend einem engeren Ringspalt bei gleicher Fläche, zu höheren Werten für Druckaufbau, Massenabbrand

und Abbrandfaktor führt. Obwohl die experimentellen Resultate gut mit den Simulationen und auch mit der getroffenen Annahme eines Lichbogens in Form eines Hohlzylinders übereinstimmen, weisen unregelmäßige Abbrandmuster auf den Kernelementen auf einen Lichtbogen hin, der nicht homogen im Ringspalt brennt. Während Teile der Oberfläche des Kerns nach einem Experiment deutliche Abbrandspuren aufweisen, sind andere Bereiche der Oberfläche völlig unversehrt. Abbildung 3 zeigt beispielhaft die unregelmäßigen Abbrandmuster.

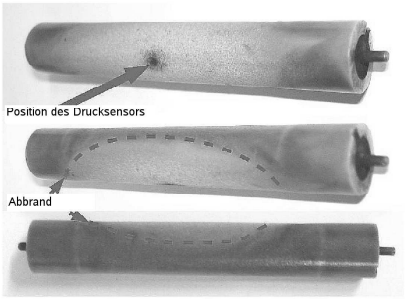


Abb. 3: Abbrandmuster auf dem Kern

Es werden zwei mögliche Ursachen für diese Effekte identifiziert und analysiert:

- Magnetfelder und
- Asymmetrien der Geometrie.

Zur Analyse von Asymmetrien werden dreidimensionale CFD Simulationen mit einem Kernelement, das um 0,2 mm aus dem Düsenzentrum verschoben ist, durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass in diesem Fall der Lichtbogen aus dem engeren Bereich des Ringspaltes verdrängt wird. Außerdem führt das Eigenmagnetfeld dazu, dass sich der Lichtbogen zusammenzieht. Die genannten Mechanismen führen dazu, dass der Ringspalt zwischen Düse und Kern nur partiell durch den Lichtbogen ausgefüllt wird.

Zusammenfassung und Ausblick

Einerseits zeigen sowohl Simulationen als auch Experimente, dass durch Hohlbogenanordnungen ein höherer Abbrand und Druckaufbau im Vergleich zu zylindrischen Düsen erzielt werden kann. Andererseits weisen unregelmäßige Abbrandmuster auf den Kernen auf einen nicht gleichmäßig brennenden Lichtbogen im Ringspalt und damit auf einen Widerspruch zu den getroffenen Annahmen hin. Diese Effekte sind auf das Eigenmagnetfeld und geometrische Asymmetrien zurückzuführen. In weiteren Untersuchungen ist zu klären, ob die beschriebenen Geometrien und die damit erzielten Ergebnisse (insb. höherer Druckaufbau) auf reale Leistungsschalter übertragbar sind.

Danksagung

Wir danken der ABB Schweiz AG Corporate Research für die finanzielle Unterstützung und fachliche Diskussion.

Quellen

[1] M. Seeger, L. Niemeyer: *Self-blast circuit breaker with control body*, Rapport technique, Weltorganisation für geistiges Eigentum, 2007

[2] D. Godin, J.Y. Trepanier, M. Reggio, X.D. Zhang, R. Camarero: *Modelling and simulation of nozzle ablation in high-voltage circuit-breakers*, J. Phys. D: Appl. Phys, vol. 33, pages 2583 - 90, 2000

[3] R. Dommerque: *Einfluss des Elektrodenabbrandes auf das Schaltverhalten eines SF6-Selbstblasschalters*, Dissertation RWTH Aachen, 2006

Kontakt

Dipl.-Ing. Jan Christoph Kahlen
kahlen@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94912

Dipl.-Ing. Andreas Kurz
kurz@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-90270

Investigation of circuit breaker model arrangements with non-conventional arc geometry

In self-blast circuit breakers the ablation of nozzle material is essential for the pressure build-up and the later backflow of quenching gas which cools down and extinguishes the electric arc. Standard self-blast circuit breakers are constructed rotation-symetrically and the electric arc is ignited within cylindrically shaped nozzles. In the context of a research project non-conventional arc arrangements are investigated. This report focuses on a "hollow arc arrangement" consisting of a cylindrical nozzle and a core element located in the centre of this nozzle. Nozzle and core element form an arcing zone in shape of an annular gap. Theoretical and experimental investigations on a basic test device show that PTFE ablation and pressure build-up in a hollow arc nozzle are significantly higher than in a cylindrically shaped standard nozzle.

Introduction

The switching element of a circuit breaker is the electric arc which is ignited when the ablation contacts of the circuit breaker are separated. In self-blast circuit breakers the energy of the electric arc itself is utilised to generate a pressure build-up in the heating chamber and a flow of quenching gas that extinguishes the arc at current zero. Due to the energy dissipated in the arc, material is ablated from the insulating nozzles. This process is essential for the build-up of blow gas pressure which strongly influences the switching performance of circuit breakers. The ablation rate of nozzle material dm/dt can be described by:

$$\frac{dm}{dt} = \nu \, \frac{U \cdot I}{h}$$

In this equation ν is the fraction of arc energy transferred to the nozzle surface and h is the vapourisation enthalpy of the nozzle material. U and I represent voltage and current, respectively. Conventional self-blast circuit breakers are rotation-symmetrically constructed and the electric arc is ignited within nozzles with a cylindrical cross section. For this geometry the typical value of ν is 0.5. With regard to an improved switching performance an increased ablation of nozzle material is beneficial. In the context of this research project a basic hollow arc test device composed of a cylindrically shaped nozzle and an additional core ablation element in the centre of this nozzle is designed and investigated. Contrary to conventional circuit breakers it is expected that the arc assumes the shape of a hollow cylinder within the annular gap formed by the nozzle and the core element. Furthermore the mass ablation rate is expected to be higher than in conventional geometries because the arc energy is now transmitted to both the nozzle surface and the surface of the core element as well [1]. The experiments and simulations with this basic test device focus on arc energy, pressure build-up in the nozzle, mass ablation and the shape of the arc.

Theoretical and experimental investigations

In order to investigate the physical processes within various nozzle arrangements and to design test devices for experimental investigations, three dimensional CFD simu-

lations are performed. For these simulations the DOM radiation model and the Kato-Launder-k-ϵ turbulence model are applied. The ablation of PTFE is implemented as a function of the radiation flux density as described in [2]. The electric arc between the electodes is initialised by defining a cylindrically shaped region of high conductivity (1000 S/m) inside the annular gap during the first 1 ms of simulated time. The simulations are carried out with one half-period of a sinusoidal current (50 Hz) with an amplitude of 12 kA. The following parameters are evaluated with regard to their impact on the electric arc:

- radius of the outer PTFE nozzle and radius of the core element;
- width of the annular gap and cross sectional area;
- magnetic fields and
- geometric asymmetry.

A technical drawing of the basic hollow arc nozzle arrangement that is used for the experimental investigations is shown in Figure 1. The arc is ignited by a thin copper wire with a diameter of 0.5 mm that is fixed between the electrodes and vaporises when high currents are applied. As for the parameters that are investigated here (i.e. arc energy, PTFE ablation and pressure build-up) mainly the high current time period of a switching operation is relevant, only the high current part of the Weil-Dobke test circuit described in [3] is used for the experiments. Currents of 8.3 kA_{Peak} and 12 kA_{Peak} are applied to the test device. The current (coaxial shunt), the arc voltage (Tektronix voltage probe) and the pressure build-up in the nozzle (Kistler pressure sensor) are measured. Measurements are carried out both with hollow arc arrangements and with cylindrically shaped nozzles.

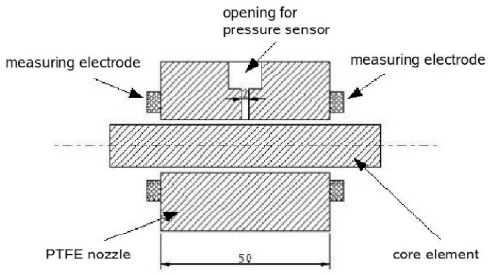


Abb. 1: Technical drawing of the test device

Results and duiscussion

In the table shown in Figure 2 an overview of experimental results for nozzle geometries with a cross sectional area of 78.54 mm^2 is presented. The given figures are average values obtained from the different test series.

	conventional nozzle (r = 5 mm)	hollow arc nozzle (r_a= 8 mm, r_i= 6.24 mm)
I_{peak} [kA]	12.0	12.5
U_{peak} [kV]	0.85	1.05
E [kJ]	60.1	78.8
Δp_{peak} [bar]	30.7	54.0
Δm [mg]	813	1718

Abb. 2: Experimental results for nozzle geometries with identical cross sectional area (78.54 mm^2)

It can clearly be recognised that the arc voltage, the arc energy, the maximum pressure build- up and the ablated mass in the conventional nozzle is significantly lower than in the hollow-arc nozzles. Comparing different hollow arc arrangements it can be observed that a larger radius r_a of the outer nozzle which corresponds to a thinner annular gap leads to an increase of the maximum pressure build-up, the ablated mass and also the mass ablation factor. Although

the experimental results agree well with the simulations and also with the assumption of an electric arc in the shape of a hollow cylinder the core elements of the hollow arc arrangements show irregular ablation patterns which hint at a non-uniform arc. While a part of the core surface shows explicit signs of ablation the rest of the surface remains intact. An example of these ablation patterns can be seen in Figure 3.

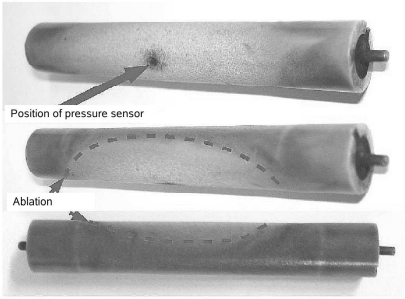


Abb. 3: Ablation patterns on core element after one experiment

Two possible reasons causing a non-uniform arc are identified and further analysed:

- magnetic fields and
- geometric asymmetries.

In order to analyse the effect of geometric asymmetries three dimensinal CFD simulations with a core element that is situated 0.2 mm out of the nozzle centre are performed. The results show that the arc is displaced to the wider part of the annular gap. Furthermore the self-induced magnetic field leads to a constriction of the electric arc. As a result of these effects the annular gap between outer nozzle and core element is only partly filled by the arc.

Conclusion and outlook

On the one hand both simulations and experiments show that there is more ablation and a higher pressure build-up in the hollow-arc nozzles. But on the other hand there are also discrepancies between simulations and experiments. While there is a homogeneous arc during a period of at least 3 - 4 ms in the simulations the ablation patterns on the core elements obtained from the experiments hint at a non-uniform arc. This effect is caused by the self-induced magnetic field and geometric asymmetries. So it becomes clear that - although first results on basic test devices are promising - more research is necessary before alternative nozzle arrangements can be applied to real circuit breakers.

Acknowledgement

We are grateful to ABB Switzerland Corporate Research for the financial and advisory support.

References

[1] M. Seeger, L. Niemeyer: *Self-blast circuit breaker with control body*, Rapport technique, Weltorganisation für geistiges Eigentum, 2007

[2] D. Godin, J.Y. Trepanier, M. Reggio, X.D. Zhang, R. Camarero: *Modelling and simulation of nozzle ablation in high-voltage circuit-breakers*, J. Phys. D: Appl. Phys, vol. 33, pages 2583 - 90, 2000

[3] R. Dommerque: *Einfluss des Elektrodenabbrandes auf das Schaltverhalten eines SF6-Selbstblasschalters*, Dissertation RWTH Aachen, 2006

Contact

Dipl.-Ing. Jan Christoph Kahlen
kahlen@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94912

Dipl.-Ing. Andreas Kurz
kurz@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-90270

Untersuchungen zu Abbrandelementen in einem Selbstblas-Leistungsschaltermodell

Aufgrund seiner thermischen und dielektrischen Eigenschaften ist SF_6 das am häufigsten verwendete Füllgas für Selbstblas-Leistungsschalter. Auf Grund des hohen Treibhauspotentials von SF_6 werden alternative Füllgase untersucht. Deren Verwendung führt zu einem verminderten Schaltvermögen, da diese schlechtere Beblasungs- und Kühleigenschaften aufweisen. Deshalb wird ein zusätzliches Abbrandelement aus einem polymeren Isolierstoff im Heizvolumen eines Modellschalters platziert. Der Einfluss dieses zusätzlichen Abbrandelementes wird mit Hilfe von Simulationen und Experimenten untersucht.

Einleitung

Das Ausschaltvermögen eines CO_2 gefüllten Leistungsschalters ist im Vergleich zu einem mit SF_6 gefüllten Leistungsschalter geringer [1]. Ziel ist es deshalb, dieses geringere Ausschaltvermögen zu verbessern, indem ein zusätzliches Abbrandelement in das Heizvolumen eingebracht wird. Dieses Element besteht aus einem polymeren Material und wird während des Schaltvorganges durch vorbeiströmendes, heißes Gas abgebrannt. Dadurch ändern sich die Temperatur und die Zusammensetzung des Gases, welches den Lichtbogen bebläst, und könnte damit einen Einfluss auf das Ausschaltvermögen haben. In diesem Bericht wird der Einfluss von zusätzlichen Abbrandelementen im Heizvolumen anhand eines Selbstblas-Leistungsschaltermodells dargestellt. Dessen Geometrie ist in Abbildung 1 zu sehen. Die Position des Abbrandelementes im Heizvolumen ist so gewählt, dass der Anteil des Abbrandgases im Kühlgas maximal ist.

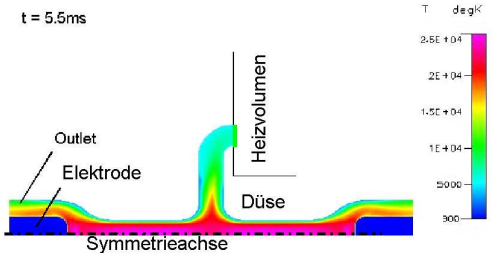


Abb. 1: Geometrie des Modellschalters. Dargestellt die Temperaturverteilung zum Zeitpunkt t=5.5ms

In einem ersten Schritt wird dieses mit Hilfe von Computational-Fluid-Dynamics (CFD)-Simulationen untersucht. Auf diese Weise kann die Temperaturverteilung und die Gaszusammensetzung in Abhängigkeit der Zeit dargestellt werden. Im nächsten Schritt werden die theoretischen Ergebnisse anhand von Experimenten verifiziert und das Ausschaltvermögen ermittelt.

Simulationen

Die Simulationen werden anhand eines Modells ausgeführt, welches sowohl für die Hochstromphase als auch für den Stromnullbereich genutzt werden kann (z.B. [2], [3]). Das vorhandene Modell erlaubt die Berechnung einer Mischung aus drei verschiedenen Gasen: dem Füllgas, dem Abbrandgas der Düsen und dem Abbrandgas des Abbrandelementes. Der Abbrandvorgang des zusätzlichen Elementes wird nicht anhand eines physikalischen Modells simuliert sondern an experimentell ermittelte Abbrandmassen angepasst. Hierbei wird die Energieerhaltung des Systems beibehalten. Um den Einfluss des zusätzlichen Elementes zu untersuchen, wird das Gas im Heizkanal betrachtet. Die Temperatur und die Gaszusammensetzung werden entlang einer Schnittlinie dargestellt, welche parallel zur Symmetrieachse liegt. Der Betrachtungszeitpunkt sowie die Position der

Schnittlinie sind so gewählt, dass das betrachtete Gas zur Kühlung des Lichtbogens im Stromnulldurchgang beiträgt. Abbildung 2 zeigt den Einfluss des Abbrandelementes auf die Temperatur des Gases. Für beide Konfigurationen ist die Temperatur an den Wänden des Heizkanals höher als in der Mitte. Dies wird durch das angenommene Abbrandmodell hervorgerufen.

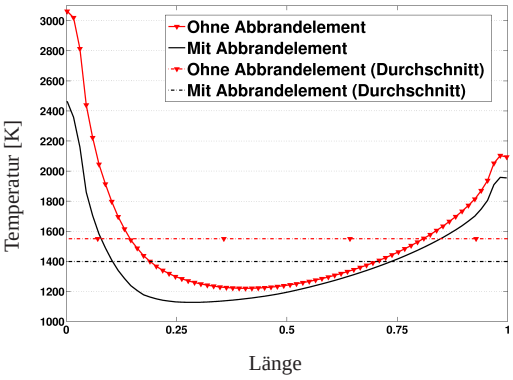


Abb. 2: Temperaturverteilung im Heizkanal

Für die Konfiguration mit zusätzlichem Abbrandelement liegt die durchschnittliche Temperatur weniger als 10% unterhalb der Gastemperatur der Konfiguration ohne zusätzliches Abbrandelement. Generell führt eine niedrigere Temperatur des Löschgases zu einem höheren Ausschaltvermögen. Allerdings wird hier auf Grund der geringen Temperaturunterschiede kein signifikanter Einfluss auf das Ausschaltervermögen

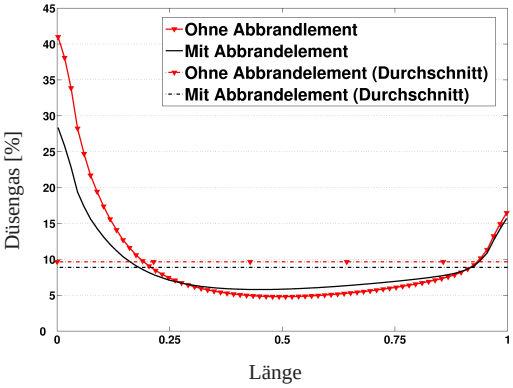


Abb. 3: Anteil des von den Düsen abgebrannten Materials im Heizkanal

erwartet. Abbildung 3 zeigt den Anteil des von den Düsen abgebrannten Materials entlang der Schnittlinie im Heizkanal. Für beide Konfigurationen - mit und ohne Abbrandelement - ist der Anteil nahezu identisch: Beide Mittelwerte liegen zwischen 9% und 10%. Die Menge des zusätzlichen Abbrandgases ist in Abbildung 4 dargestellt. Der mittlere Anteil liegt nur bei etwa 1% des Löschgases. Es ist zu erwarten, dass dieser Wert keinen signifikanten Einfluss auf das Kühlverhalten haben wird. Aufgrund der Ergebnisse der Simulationen ist davon auszugehen, dass ein zusätzliches Abbrandelement keinen Einfluss auf das Ausschaltvermögen eines Leistungsschalters haben wird.

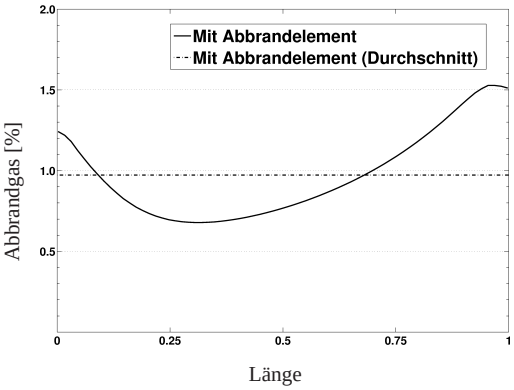
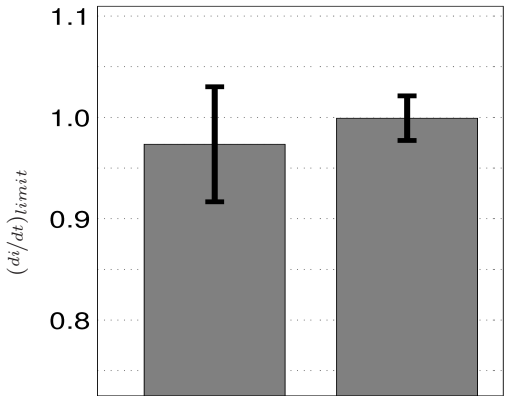


Abb. 4: Anteil des vom zusätzlichen Abbrandelement abgebrannten Materials im Heizkanal

Experimentelle Untersuchungen

Die experimentellen Untersuchungen werden in einem synthetischen Prüfkreis durchgeführt. Auch hier werden die Konfiguration mit sowie die Konfiguration ohne zusätzliches Abbrandelement verglichen. Um das Ausschaltvermögen zu bestimmen, werden mehrere Versuche durchgeführt und das Ausschaltvermögen anschließend anhand der gewonnenen Messdaten berechnet. In diese Berechnung fließen sowohl die gemessene Stromsteilheit als auch der kritische Widerstand mit ein. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5 dargestellt. Es ist

zu erkennen, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen dem Schaltermodell mit zusätzlichem Abbrandelement und dem Schaltermodell ohne Abbrandelement gibt.



links: ohne Abbrandelement
rechts: mit Abbrandelement

Abb. 5: Experimentell ermitteltes Ausschaltvermögen (normiert) und dessen Standardabweichung des Modellschalters

Zusammenfassung

Wird das Füllgas SF_6 eines Leistungsschalters durch CO_2 ersetzt, so verringert sich das Ausschaltvermögen. Um selbiges in einem CO_2 gefüllten Schalter zu erhöhen, wird ein zusätzliches Abbrandelement in das Heizvolumen eingebracht. In diesem Bericht wird der Einfluss dieses zusätzlichen Abbrandelementes aus einem polymeren Material auf die Gastemperatur und die Gaszusammensetzung untersucht. Die Simulationen zeigen eine leichte Verringerung der Temperatur um etwa 10%. Die Gaszusammensetzung ändert sich nicht signifikant. Der Anteil des abgebrannten Düsenmaterials ist nahezu konstant und der Anteil des zusätzlichen Abbrandgases liegt bei etwa 1%. Deshalb wird nicht erwartet, dass sich das Ausschaltvermögen verbessert. Dies kann anhand experimenteller Untersuchungen bestätigt werden, da sich das Ausschaltvermögen des Schaltermodells mit Abbrandelement nicht signifikant vom Ausschaltervermögen des Schaltermodells ohne Abbrandelement unterscheidet.

Danksagung

Wir danken dem Forschungszentrum der ABB Schweiz AG für die finanzielle Unterstützung unserer Forschung sowie für die fachlichen Diskussionen.

Referenzen

[1] T. Uchii et al.: *Investigations on SF6-Free Gas Circuit Breaker Adopting CO2 Gas as an Alternative Arc-Quenching and Insulation Medium*, Gaseous Dielectrics X, Springer, 2004

[2] J.C. Kahlen et al.: *Influence of Electrode Vapour Contamination on the Thermal Interruption Capability of a SF6 Self-Blast Circuit Breaker Model*, 16th International Conference on Gas Discharge and their Applications, Xian, China, 2006

[3] M.-C. Tang et al.: *Influence of a Parallel Capacitance on the Switching Behaviour of Self-Blast Circuit Breakers*, 17th Symposium on Physics of Switching Arc, Brno, Czech Republic, 2007

Kontakt

Dipl.-Ing. Matthias Hoffacker
hoffacker@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94944

Dipl.-Ing. Ming-Chark Tang, MBA
tang@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94914

Investigations on Additional Ablation Elements in a Self-Blast Circuit Breaker Model

SF_6 is the most common filling gas of self-blast circuit breakers due to its superior thermal interruption and dielectric behaviour. Due to the high global warming potential of SF_6 alternative filling gases are investigated. The use of alternative filling gases leads to a decreased switching performance due to lower quenching capabilities of the gas. Hence, a new approach is evaluated to improve the quenching performance. Therefore, an additional ablation element consisting of a polymer material is implemented in the heating volume of a CO_2 self-blast circuit breaker model. The influence of the additional ablation element is investigated using simulation tools and experimental testing.

Introduction

When using CO_2 instead of SF_6 as filling gas for circuit breakers the interruption capability is decreased [1]. Due to that fact, the interruption capability of CO_2 needs to be improved. Hence, the implementation of an additional ablation element inside the heating volume is evaluated. This element consists of a polymer material and will be evaporated by the hot gas flow during the switching operation. Therefore, the quenching gas which cools the electric arc changes in composition and temperature. This might effect the interruption capability of the circuit breaker. In this report the influence is investigated by using a circuit breaker model. Its geometry can be seen in figure 1. The position of the ablation element inside the heating volume is chosen to maximise the amount of ablation gas in the quenching gas.

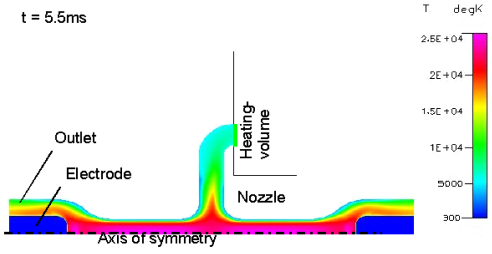


Fig. 1: Geometry of the circuit breaker model showing the distribution of the temperature at t=5.5ms

In a first step the effect is investigated by using Computational-Fluid-Dynamics (CFD) simulations. Therefore, the composition of the gases inside the circuit breaker model as well as the temperature distribution can be illustrated spatial and time resolved. Afterwards, the theoretical results are verified by experiments.

Simulations

The simulations are carried out using a simulation model, which can be used for both the high current phase and the current zero phase of a self-blast circuit breaker (e.g. [2], [3]). The existing model allows the calculation of a mixture of three different gases: the filling gas, the ablated nozzle material and the gas of the additional ablation material. The ablation process of the new element is not simulated using a physical model but it is suited to the experimentally measured ablated mass. The conservation of energy is regarded in this approach. To investigate the influence of the additional ablation element the gas inside the heating channel is observed. Due to this, the gas temperature and the gas composition are plotted along a cut-line which is in parallel to the axis of symmetry. The observed point in time and the position of the cut-line are chosen to guarantee that the observed gas cools the electric arc at current zero. Fig. 2 shows the influence of the cooling gas on the tempera-

ture. For both configurations the temperature at the walls of the heating channel is higher than the temperature at the center. This effect is caused by assumptions of the ablation model used in our investigations.

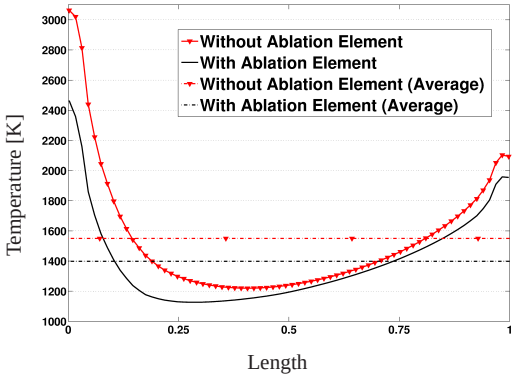


Fig. 2: Temperature inside the heating channel

For the configuration with an additional ablation element the average temperature of the gas is less than 10% lower than the gas temperature of the configuration without an additional ablation element. In general a lower temperature of the quenching gas should lead to a higher interruption capability of the circuit breaker. Due to these minor differences an influence on the interruption capability is not expected.

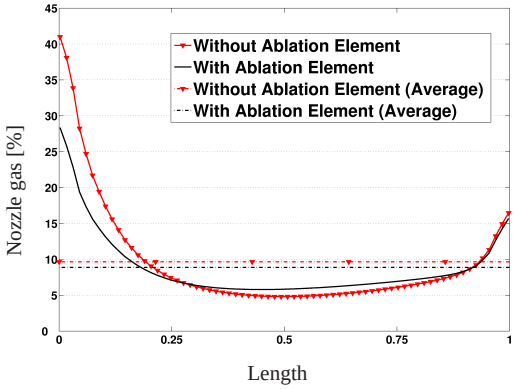


Fig. 3: Ratio of gas ablated by the nozzle inside the heating channel

Figure 3 shows the ratio of the gas ablated by the nozzle along the cut-line in the heating channel. For both configurations - with and without ablation element - the ratio is nearly identical: Both average values are between 9% and 10%. The amount of the additional ablation gas in the heating channel is shown in Fig. 4. The average amount of the ablation gas is only about 1%. It is expected that this value can not significantly influence the interruption capability of a circuit breaker. Due to the results of the simulations it is not expected that an additional ablation element can increase the interruption capability of a circuit breaker.

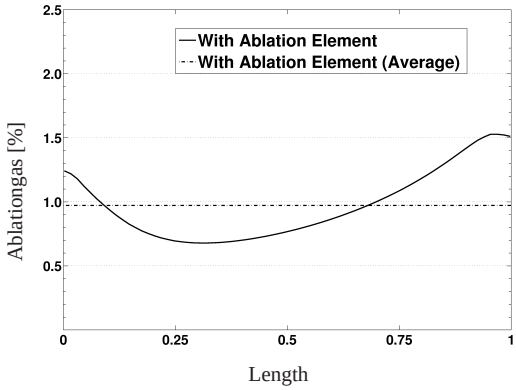


Fig. 4: Ratio of gas ablated by the additional ablation element inside the heating channel

Experimental Investigations

The experimental investigations are carried out using a synthetic test circuit. Again the configuration with and the configuration without ablation element are compared. To estimate the interruption capability several experiments are carried out and a method to calculate the interruption capability is applied. The current steepness of each current zero is measured. Including the information on the critical resistance and on the successful interruption processes the interruption capability is determined. The results are depicted in Fig. 5. No significant differences between the interruption capabilities of the self-blast circuit breaker model with and without the additional ablation element are ascertained.

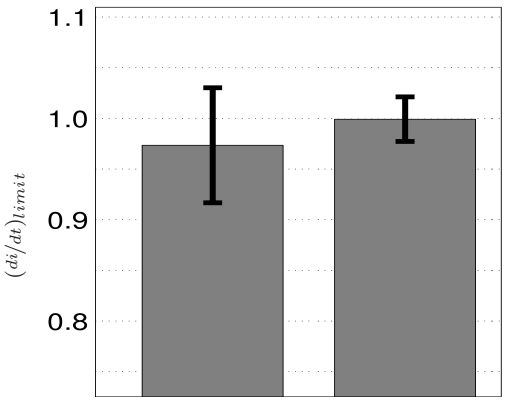


Fig. 5: Experimentally measured interruption capability (normalised) and standard deviation of the circuit breaker model

Conclusion

The substitution of SF_6 by CO_2 as a filling gas of self-blast circuit breakers leads to a decrease of the interruption capability. To enhance the interruption capability of a CO_2 self-blast circuit breaker model an additional ablation element is placed inside the heating volume. This report investigates the influence of an additional ablation element consisting of a polymer material on the temperature and composition of the arc quenching gas. The simulations show a small decrease of the gas temperature of nearly 10%. The gas composition does not change significantly. The amount of the gas ablated by the nozzle is nearly the same and the amount of the gas coming from the additional ablation element is only about 1%. Therefore, an increasing interruption capability is not expected. The experimental measurements of the interruption capabilities show no significant differences. Hence, the simulative investigations on the additional ablation element can be confirmed by the measurement.

Acknowledgement

We are grateful to the ABB Switzerland Ltd. Corporate Research for the financial support of our research work and the technical discussions.

References

[1] T. Uchii et al.: *Investigations on SF6-Free Gas Circuit Breaker Adopting CO2 Gas as an Alternative Arc-Quenching and Insulation Medium*, Gaseous Dielectrics X, Springer, 2004

[2] J.C. Kahlen et al.: *Influence of Electrode Vapour Contamination on the Thermal Interruption Capability of a SF6 Self-Blast Circuit Breaker Model*, 16th International Conference on Gas Discharge and their Applications, Xian, China, 2006

[3] M.-C. Tang et al.: *Influence of a Parallel Capacitance on the Switching Behaviour of Self-Blast Circuit Breakers*, 17th Symposium on Physics of Switching Arc, Brno, Czech Republic, 2007

Contact

Dipl.-Ing. Matthias Hoffacker
hoffacker@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94944

Dipl.-Ing. Ming-Chark Tang, MBA
tang@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94914

Weiterentwicklungen an Einzelzündspulen in Automobilsystemen

Zündspulen stellen ein stark beanspruchtes Bauteil im Automotor dar. Neben klimatischen, chemischen und mechanischen Belastungen müssen sie hohen elektrische Feldstärken widerstehen können. In neueren Motorengenerationen kommen vermehrt Einzelzündspulen zum Einsatz. Hier wird jede Zündkerze von einer eigenen Zündspule gezündet. Aus Gründen der Kosten- und Gewichtsreduktion werden diese kontinuierlich miniaturisiert. Somit werden die Isolierschichten zunehmend dünner. Am Institut für Hochspannungstechnik werden Untersuchungen hinsichtlich des optimalen Aufbaus von Isoliersystemen für Zündsysteme durchgeführt. Für zukünftige Generationen soll ebenso die Effizienz der Zündsysteme weiter verbessert werden. Ein vielversprechender Ansatz besteht in der so genannten „Multisparkzündung". Dabei wird die Spule derart betrieben, dass anstelle eines konzentrierten Einzelzündfunkens viele kurze Entladungen in serieller Folge erzeugt werden, um eine gleichmäßige Zündung des Kraftstoff/Luftgemisches sicherzustellen.

Einleitung

In Ottomotoren wird das Treibstoff- Luftgemisch durch eine Zündkerze entflammt. Die Zündkerze zündet das Gemisch, indem eine Funkenstrecke durch eine hohe impulsförmige Spannung zum Überschlag gebracht wird. Diese wird durch eine Zündspule erzeugt. Vom Aufbau her ähnelt eine Zündspule einem Transformator. Der Primärkreis wird mittels 12V Bordnetz aufgeladen und der Primärstrom schnell abgeschaltet. Sekundärseitig wird durch das hohe Übersetzungsverhältnis in Kombination mit dem steilen di/dt ein hoher Spannungsimpuls erzeugt.
Da die Zündspule am geerdeten Motorblock sitzt, muss sie auf engstem Raum hohe Feldstärken sicher isolieren können. Dabei wird die Zündspule sehr hohen thermischen Lastspielen ausgesetzt. Ebenso müssen Salznebel-Belastungen im Winter oder hohe Temperaturen in Kombination mit hoher Feuchtigkeit im Sommer von der Zündspule bewältigt werden.
In den letzten Jahren hat sich die Einzelzündspule durchgesetzt, d.h. jede Zündkerze wird jeweils durch eine eigene Zündspule gezündet.

Lebensdaueruntersuchungen an Pencil Coils

Pencil Coils sind eine besonders dünne Variante der Einzelzündspulen. Sie sind typischerweise von einem geerdeten Metallmantel umgeben. In Abb. 1 ist ein Schnittbild dargestellt. Die geometrische Anordnung stellt ein Schichtdielektrikum dar. Konstruktionsbedingt sind Lufteinschlüsse zwischen Gehäuse und dem metallischen Mantel unvermeidbar. Da die dielektrische Verschiebungsdichte D in radialer Richtung konstant ist, gilt für das elektrische Feld E (Index I: Isolation, Index L: Luft):

$$\begin{aligned} & D_I = D_L \\ \Rightarrow\ & \epsilon_{rI} \cdot E_I = \epsilon_{rL} \cdot E_L \\ \Leftrightarrow\ & E_L = (\epsilon_{rI}/\epsilon_{rL}) \cdot E_I \end{aligned}$$

Die Dielektrizitätskonstante von Luft (ϵ_{rL}) ist etwa 1 und für Kunststoff/Epoxidharz im Bereich $\epsilon_{rI} = 3...4$. Aus obiger Gleichung wird ersichtlich, dass der Luftraum im Vergleich zum Isolator um ein Vielfaches belastet wird. Dieser Effekt wird als Feldverdrängung bezeichnet. Da die Luft gleichzeitig eine deutlich niedrigere Spannungsfestigkeit besitzt, setzt eine Teilentladung im-

mer zuerst im Lufthohlraum ein. Die Folge sind mögliche Erosionen der Isolierstoffoberfläche, die letztendlich in einen Isolationsverlust münden können.

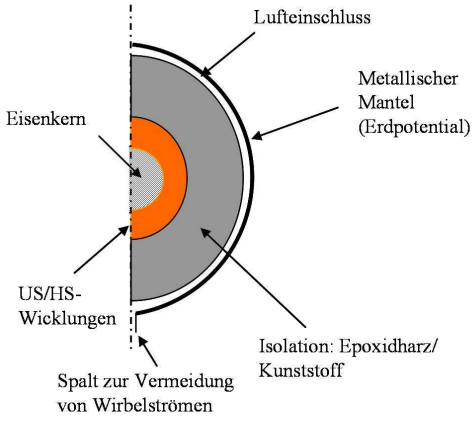


Abb. 1: Schnitt durch eine Pencil Coil

Eine Entlastung der Lufteinschlüsse zwischen Gehäuse und metallischem Mantel wird durch eine metallische Beschichtung des Gehäuses erreicht. Durch Kontaktierung des (z.T.) anliegenden Metalls werden die Lufteinschlüsse feldfrei. Auch die Anbringung einer Teilentladungsbeständigeren Klarlacklackierung kann eine Verbesserung bringen, hierbei werden die Koronaentladungen jedoch nicht grundsätzlich vermieden.

Entwicklung zeitraffender Prüfverfahren

Zur Bewertung der Lebensdauer einer Zündspule muss diese den unterschiedlichsten elektrischen, mechanischen und thermischen Prüfverfahren unterzogen werden. Eine Prüfung stellt dabei die Feuchte-Wärme-Lagerung in einer Klimakammer dar. Dazu werden die Spulen mehrere Wochen bei einer Temperatur von 85°C und 85% relativer Luftfeuchtigkeit gelagert. Unter diesen Bedingungen wird die Materialschädigung durch Hydrolyse untersucht. Als Hydrolyse wird die Aufspaltung der molekularen Hauptkette des Isolierstoffes unter Einwirkung von Feuchtigkeit bezeichnet. Hierdurch kann es zu einer Versprödung des Materials kommen, die zur Rissbildung des Gehäuses unter starken Temperaturwechseln führen kann [1].

Da es sich bei der Feuchte-Wärme-Lagerung um eine langwierige und somit kostenintensive Prüfung handelt, wird nach neuen geeigneten Prüfverfahren gesucht. Als Rafftest für die Feuchte-Wärme-Lagerung (FW) in einer Klimakammer wird die Korrelation zu einer Alterung mittels Pressure Cookers (PC) untersucht. Da die Belastung im Pressure Cooker deutlich höher ist, verkürzt sich die Versuchsdauer und bedingt zugleich eine Kostenreduktion der Prüfung. Es soll ermittelt werden, ob die Lagerzeit in der Klimakammer mit einem konstanten Faktor auf die Lagerzeit im Pressure Cooker herunter skaliert werden kann.

Im Pressure Cooker Test kann bei maximal erreichbaren Absolutdruck von 0,19 MPa eine Wasserdampftemperatur von ca. 120°C erzielt werden. Damit die Spulen nur dem Wasserdampf und nicht der direkten Hitze ausgesetzt sind, stehen diese auf einem Gitter (Abbildung 2).

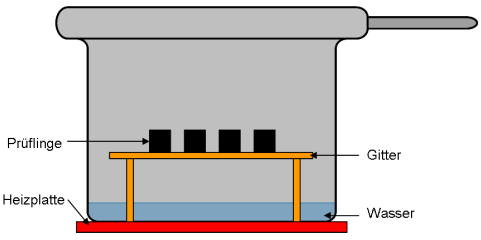


Abb. 2: Pressure Cooker Testaufbau

Zur Ermittlung des Skalierungsfaktors werden die Zündspulen zunächst über verschiedene Zeiten den beiden Lagerarten ausgesetzt (FW und PC). Für den Pressure Cooker werden die Lagerzeiten 25 h und 50 h und für die Feuchte-Wäreme-Lagerung die Lagerzeiten 500 h und 750 h gewählt. Im Anschluss werden die Zündspulen einer 100 Zyklen umfassenden Thermoschockbelastung zwischen -40°C und 125°C mit

einer Zyklusdauer von 40 min ausgesetzt. Nach jeweils zehn Zyklen werden die Spulen auf Rissbildung hin untersucht und vorhandene Risse zum Zweck der Schadensbewertung fotografisch dokumentiert. Anhand dieser Rissdokumentation kann nach Abschluss der Behandlung die Wachstumsgeschwindigkeit und somit der Schädigungsgrad der Spulen bzw. des Materials bewertet werden.

Zur Bewertung der optischen Beobachtung wird die Analyse nach dem Design of Experiment (DOE) herangezogen [2]. Die dort genannten Methoden zur Versuchsplanung und Versuchsauswertung stellen statistische Werkzeuge zur Verfügung, welche die Menge der benötigten Versuche und Proben deutlich senken. Als Zielgröße ergibt sich die „Schädigungsmenge“ relativ zur Zykluszahl im Thermoschock, welche ein Werkzeug zur Bestimmung der Korrelation zwischen den beiden Lagerarten FW und PC darstellt.

Zur Auswertung der „Schädigungsmenge“ werden für die verschiedenen Rissmuster Benotungen von 0 bis 5 Punkte über die Zyklenzahl vergeben, wobei eine Null keinen Riss und eine Fünf die maximal auftretende Länge des entsprechenden Risses darstellt. Abbildung 3 zeigt die erhaltene Schädigung über die Zyklenzahl im Thermoschockschrank.

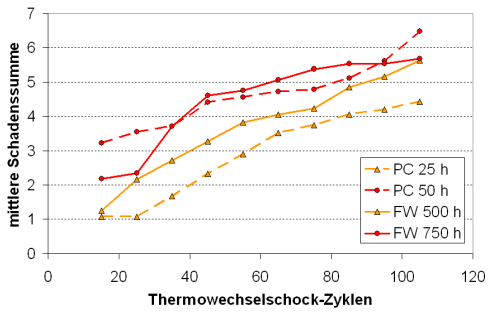


Abb. 3: Akkumulierte gemittelte Schädigung nach Vorbelastung

Es lässt sich erkennen, dass die Schädigung über die Zyklenzahl für beide Vorbehandlungen einen vergleichbaren Verlauf aufweist. Es kann gesagt werden, dass eine Korrelation zwischen der Lagerzeit für Feuchte-Wärme in der Klimakammer und Pressure Cooker besteht. Es ergibt sich ein Skalierungsfaktor von etwa 1:15 (PC-Lagerung zu FW-Lagerung).

Multisparkzündung

Die im industriellen Automobilbau verwendeten Zündspulen werden aus Gründen der Kosten- und Gewichtsreduktion kontinuierlich miniaturisiert und in ihrem Wirkungsgrad optimiert. Ein vielversprechender Ansatz zur Gewichtsreduktion ist die so genannte „Multisparkzündung“. Dabei wird die Spule derart betrieben, dass anstelle eines konzentrierten Einzelzündfunkens viele kurze Entladungen in serieller Folge erzeugt werden. Die Pausenzeiten zwischen den Einzelfunken werden zum niederspannungsseitigen Nachladen der im Luftspalt des Spulenkerns gespeicherten Energie verwendet. Aufgrund des wiederholten Nachladens der Spule kann so die insgesamt umgesetzte Energie bei gleichem Hardwarevolumen erhöht oder alternativ das Hardwarevolumen bei gleich bleibendem Energieumsatz gesenkt werden.

Zur Optimierung dieser Zündvariante werden am IFHT Untersuchungen zur Übertragungseffizienz einzelner beteiligter Komponenten durchgeführt:

- Die verwendeten Magnetkerne werden mit relativ hoher Frequenz bis an die Sättigungsgrenze aufmagnetisiert. Dabei entstehen signifikante Kernverluste.
- Nach [3] durchläuft ein Zündfunke verschiedene Phasen, welche jeweils durch unterschiedlich effiziente Umwandlungsmechanismen der elektrischen Energie in thermische Energie gekennzeichnet sind. Dieser Einfluss wird anhand spezieller Druckmesskammern speziell für Mehrfachfunken experimentell untersucht.

- Aufgrund der hohen Schaltfrequenz senken Schaltverluste der Halbleiter und Verluste durch Oberflächenentladungen bzw. dielektrische Verschiebungen im Isoliermaterial der Zündkabel die Übertragungseffizienz (siehe Abbildung 4)

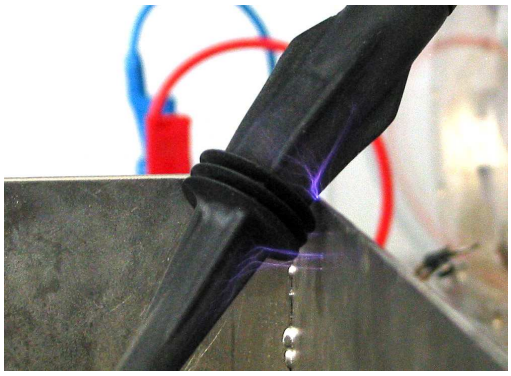


Abb. 4: Oberflächenentladung zwischen Silikonboot und geerdetem Prüfgefäß

Einige dieser Einflüsse zeichnen sich durch eine hohe Antiproportionalität zueinander aus, z.B. wirkt sich die Erhöhung der Schaltfrequenz nachteilig auf die Halbleiterverluste aus, kann aber dazu führen, dass die Magnetkerne weniger stark aufmagnetisiert werden müssen.

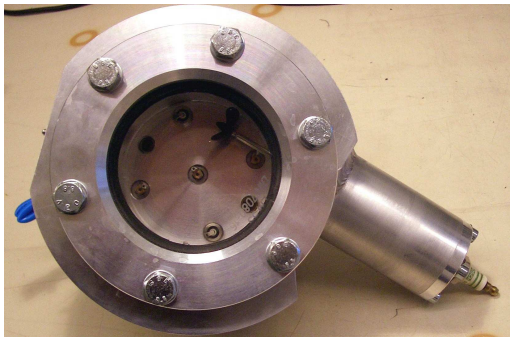


Abb. 5: Druckmesskammer

Mit Hilfe der oben genannten Druckmesskammern ist es möglich, die Einflüsse unterschiedlicher Parameteränderungen optisch (über ein druckfestes Sichtfenster) und thermisch (über die Druckänderung im versiegelten Gefäß) zu untersuchen (Abbildung 5). Weiterhin können damit die korrosiven Schädigungswirkungen der Multisparkzündung an realistischen Belastungsszenarien untersucht werden.

Quellen

[1] P. Elsner, P. Eyerer, T. Hirth: *Kunststoffe - Eigenschaften und Anwendungen*, Springer Verlag, 2007, ISBN: 3540724001

[2] W. Kleppmann: *Taschenbuch Versuchsplanung*, Hanser Verlag, 2008, ISBN: 3446415955

[3] H. Albrecht, R. Maly, B. Saggau, E. Wagner: *Neue Erkenntnisse über elektrische Zündfunken und ihre Eignung zur Entflammung brennbarer Gemische (1. Teil)*, Automobil-Industrie 4/77, 1977

Kontakt

Dipl.-Ing. Michael Keßler
kessler@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94936

Dipl.-Ing. Christoph Roggendorf
roggendorf@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-93032

Dipl.-Ing. Sascha Schulte
schulte@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94910

Enhancements of Single Ignition Coils in Automotive Applications

An ignition coil is a highly stressed component in combustion engines. The coil has to withstand climatic, chemical and mechanical stresses as well as a high electrical field strength. For new generations of combustion engines, single ignition coils are mostly used . In this case, every sparkplug is energized by its own ignition coil. With the aim of a reduction of costs and weight, they are continuously miniaturised, which leads also to a reduction of the thickness of the insulation. At the Institute for High Voltage Technology, investigations concerning the optimal configuration of the insulation system of ignition systems are provided. An improvement of efficiency of the ignition systems for future generations is also topic of current studies. A promising solution consists in a so called "Mulstispark Ignition". Instead of one single concentrated ignition spark, the ignition coil generates many short discharges in series to ensure a steady ignition of the fuel air mixture.

Introduction

In Otto-cycle engines the air fuel mixture is inflamed by a sparkplug. The sparkplug ignites the mixture by a flashover in a spark gap, caused by a high voltage impulse. The high voltage impulse is generated in an ignition coil. The buildup of the ignition coil is similar to a small transformer. The primary circuit is energized by the 12V electrical system and the primary current is cropped rapidly. Due to the high winding ratio and steep di/dt, a high voltage impulse is generated. Located at the engine block, which is at ground potential, it is necessary to insulate a high field strength with few space. During operation, the ignition system is exposed to rxtrem thermal cycles. Furthermore the ignition coil has to withstand salt fog stress and high temperatures in combination with high humidity. In recent years single ignition coils have been established. In this case every sparkplug is ignited with its own ignition coil.

Investigation of the lifetime of pencil coils

Pencil coils are a very thin type of single ignition coils. The coil is typically surrounded by a metallic encasulation. In Fig. 1 a cross section of the coil is shown.

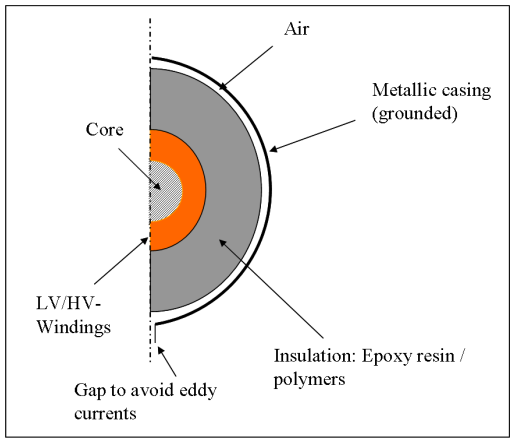


Fig. 1: Cut view of a Pencil Coil

The arrangement describes a so called stacked dielectric. Due to its geometry, gas enclosures between coil housing and metallic encasing are unavoidable. Due to the fact that the radial electric flux density has to be constant between two dielectrics, the electrical field is (Index I: Insulation, Index A: Air):

$$\begin{aligned} & D_I = D_A \\ \Rightarrow\ & \epsilon_{rI} \cdot E_I = \epsilon_{rA} \cdot E_A \\ \Leftrightarrow\ & E_A = (\epsilon_{rI}/\epsilon_{rA}) \cdot E_I \end{aligned}$$

The permittivity of air (ϵ_{rA}) is around 1 and for polymers/ epoxy resin in the range of $\epsilon_{rI} = 3...4$. According to that equation, the air enclosure is stressed much higher in comparison of the insulation material. This effect is called field displacement. Due to the lower dielectric strength of air, partial discharges are initiated in the gas volume. The result is an erosion of the surface of the insulation possibly leading to a breakdown of the material. A release of the gas volume between housing and metallic casing can be realised applying a metallic coating for the housing. Via contacting the metallic encasing to ground, the gas volume becomes field-free. Mounting a partial discharge resistant coating can also show an improvement without avoiding corona discharges in general.

Development of accelerated ageing tests

To evaluate the durability of an ignition coil it has to be exposed to different electrical, mechanical and thermal test procedures. One of these thermal tests is the damp heat storage. For that purpose the ignition coils have to be exposed to a temperature of 85°C and a relative humidity of 85% for several weeks. Under these conditions, the material damage by hydrolysis should be investigated. Hydrolysis describes the dissociation of the main molecular chain by the exposure of water. Hereby an embrittlement of the material can be effected, which can lead to a cracking of the ignition coil enclosure under high temperature cycling[1].

New and adequate test methods are researched, because the damp heat storage is an interminable and consequently expensive test. As an accelerated test for the damp heat storage (DH) in a climatic chamber the correlation to the material aging in a pressure cooker (PC) will be determined. Since the pressure cooker brings out a higher stress, the test duration will be reduced, which leads to a cost reduction of the test procedure. It shall be determined, if the storage time in the climatic chamber can be scaled down to the storage time in the pressure cooker by a constant factor.

In a standard pressure cooker a maximum absolute pressure of 0.19 Mpa and a steam temperature of approximately 120°C can be achieved. To make shure that the ignition coils are only exposed to the steam and not to the direct heat, they are applied on a fence (Fig. 2).

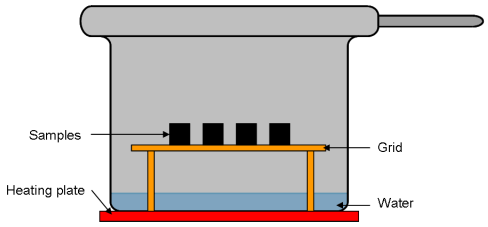


Fig. 2: Pressure cooker setup

Initially the ignition coils are exposed to both types of storage (DH and PC) over different time intervals. The storage times 25 h and 50 h for the pressure cooker and 500 h and 750 h for the damp heat storage are investigated. Afterwards the ignition coils are exposed to a thermal shock stress of 100 cycles. This stress is simulated by moving them between a heating chamber (125°C) and a cooling chamber (-40°C) every 40 minutes. Each ten cycles the ignition coils are investigated regarding the cracking of the enclosure. Actual cracks will be documented photographically for the purpose of a damage assessment. Based on an evaluation of all pictures taken the growth rate of the cracking and hence the damage rate of the ignition coils respectively of the material are assessed.

The analysis according to the Design of Experiment (DOE) is used to evaluate the optical study [2]. The methods of the design of experiments provide statistical tools, which reduce the required number of samples significantly. The “amount of damage”

relative to the number of cycles is defined as the target value, which describes a tool for the determination of the correlation between the damp heat storage and the storage in a pressure cooker.
For the Evaluation of the "amount of damage" the differentcracking pattern are marked 0 up to 5 points over the number of cycles, where the marking with 0 points describes no cracking and the marking with 5 points describes the maximum occurring length of the according crack. Fig. 3 shows the summarized received damage over the number of thermal shock cycles.

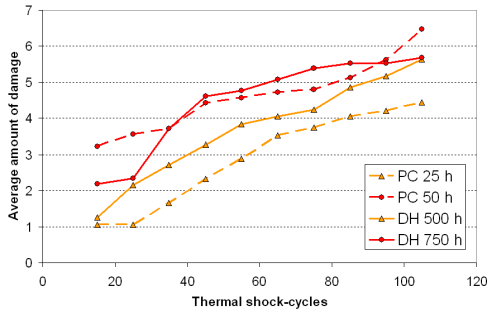


Fig. 3: Accumulated average damage according to the pre-treatment

The developing of the damage over the number of cycles is comparable for both pre-treatments. It is possible to say, that a correlation between the storage times for damp heat in a climatic chamber and in a pressure cooker exists. The result of this investigation is a scaling factor in the range of 1:15 (PC-storage to DH-storage).

Multispark Ignition

To minimize production costs and weight of the ignition coil, there is a continuous demand for miniaturization and optimization of ignition systems for automotive deployment. A promising approach to achieve higher energy densities and thus lesser volumes and weights is the so called MSI, "multispark ignition". Instead of charging and discharging the coil just once for each ignition, the system is getting recharged several times in relatively short intervals, creating a series of short discharges. The short intervals between each discharge-pulse are used to recharge the energy stored in the gap of the magnetic core by re-enabling the low-voltage side of the ignition coil for some microseconds. Due to the repetitive rechargeing of the coil it is possible to transfer a higher total sum of energy with constant volume of the hardware or alternatively transfer a constant total sum of energy with less hardware. For further optimizations of this ignition system, the IFHT conducts research on the impact on the transmission efficiency of several factors:

- The magnetic cores are being magnetized up to saturation levels at relatively high frequencies. This results in significant transmission losses dependent on the core geometry and core material.

- According to [3], ignition sparks go through three different states, each of them characterized by different efficiencies for the conversation of electrical energy to thermal energy. To investigate the influence of these states especially for multispark ignition systems, the IFHT conducts experimental measurements with special pressure chambers.

- The high switching frequencies cause significant switching losses in the power electronic components, namely the IGBTs. In addition to these losses, the by losses produced electrical flux density in the insulators and the surface discharges on the high voltage cables are expected to rise with higher frequencies (see 4)

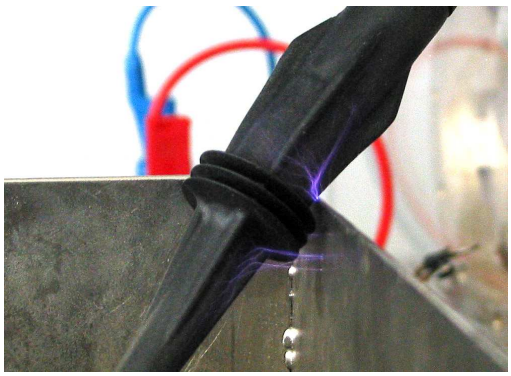


Fig. 4: Surface discharges betwwen boot and earthed test vessel

Some of these influencing factors are characterized by highly antipodal effects. In some cases, a rise of the switching frequency results in higher losses in the power electronics but lower core losses due to the possibility to operate at lower magnetization levels.

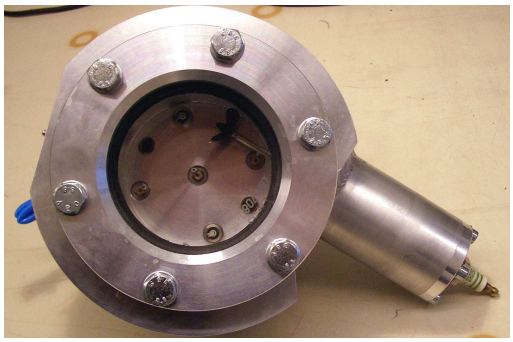


Fig. 5: Pressure chamber

By conducting experiments with the pressure chamber described above, it is possible to characterize the influence of single parameters in an optical (the chamber supplies a pressure resistant window) and thermal way (by measuring the pressure change inside the sealed chamber) - see fig. 5. It is also possible to investigate the corrosion caused by multispark ignition systems in an authentic environment by utilizing the pressure chambers in combination with realistic load profiles.

References

[1] P. Elsner, P. Eyerer, T. Hirth: *Kunststoffe - Eigenschaften und Anwendungen*, Springer Verlag, 2007, ISBN: 3540724001

[2] W. Kleppmann: *Taschenbuch Versuchsplanung*, Hanser Verlag, 2008, ISBN: 3446415955

[3] H. Albrecht, R. Maly, B. Saggau, E. Wagner: *Neue Erkenntnisse über elektrische Zündfunken und ihre Eignung zur Entflammung brennbarer Gemische (1. Teil)*, Automobil-Industrie 4/77, 1977

Contact

Dipl.-Ing. Michael Keßler
kessler@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94936

Dipl.-Ing. Christoph Roggendorf
roggendorf@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-93032

Dipl.-Ing. Sascha Schulte
schulte@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94910

Mechanische Untersuchungen zum Vergleich der Haftung an inneren Grenzflächen in syntaktischem Schaum

Syntaktischer Schaum ist ein Verbundmaterial bestehend aus einer Polymermatrix, die mit Mikrohohlkugeln gefüllt ist. Durch den Verbund kommt es im Inneren des Schaummaterials zu Grenzflächen, welche sich auf dessen mechanischen Eigenschaften auswirken. Die Haftungsqualität zwischen Matrix und Füllstoff wird bei der Herstellung über verschiedene Oberflächenbeschichtungen der Mikrohohlkugeln modifiziert. Ein Zusammenhang zwischen der elektrischen Spannungsfestigkeit des Materials und der Haftungsqualität im Inneren wird beobachtet [1]. Mit Hilfe von mechanischen Untersuchungen kann daher ein Materialvergleich zwischen Isolierstoffen mit unterschiedlichen Oberflächenbeschichtungen der Mikrohohlkugeln durchgeführt werden.

Einleitung

In hochspannungstechnischen Geräten werden zur elektrischen Isolation vermehrt Polymere eingesetzt. Im Vergleich zu flüssigen oder gasförmigen Isolierstoffen können diese gleichzeitig mechanische Aufgaben übernehmen. Nachteilig ist jedoch ihre vergleichsweise hohe spezifische Dichte. Syntaktischer Schaum, ein Verbundwerkstoff aus einer Polymermatrix und Mikrohohlkugeln (MHK), weist gute mechanische und elektrische Eigenschaften bei geringerer spezifischer Dichte auf. Der im Rahmen dieser Untersuchungen verwendete syntaktische Schaum besteht aus einer Epoxidharzmatrix, die mit Glas-Mikrohohlkugeln gefüllt ist. Bei der Herstellung des Materials werden die Mikrohohlkugeln dem noch flüssigen Harz beigemischt. Durch eine Modifikation der Füllstoffoberfläche wird die Beschaffenheit der im Inneren des Materials entstehenden Grenzflächen zwischen den Hohlkugeln und der Epoxidharzmatrix verändert. Mit Hilfe von mechanischen Untersuchungen, bestehend aus Materialbrüchen bei Niedrigtemperatur und Zugversuchen, wird die Haftung zwischen Epoxidharz und Glas-MHK bestimmt. Wesentliche Voraussetzung für den Vergleich der syntaktischen Schäume untereinander ist die Verwendung einheitlicher Mikrohohlkugelabmessungen. Nach [2] wirken sich Kugeldurchmesser und -wanddicke auf die mechanischen Eigenschaften des Gesamtmaterials aus. Um eine Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse zu erzielen, wird die Beschichtung jeweils auf denselben Kugeltyp aufgebracht. Es werden zwei Oberflächenbehandlungen untersucht. Als Referenz wird ein Schaum mit unbehandelten Kugeln herangezogen. Das Verfahren wird angewendet auf Isoliermaterialien, die zu 40 Vol.% mit Mikrohohlkugeln des mittl. Durchmessers 60 μm gefüllt sind. Zur Herabsetzung der Haftungsqualität werden die unbehandelten Glaskugeln vor der Herstellung des Schaumms in Wasserdampf gelagert und somit an der Oberfläche befeuchtet. Zur Verbesserung der Haftungsqualität werden Hohlkugeln mit einer silanisierten Oberfläche verwendet.

Materialbrüche

Für die Durchführung der Materialbrüche bei Niedrigtemperatur werden Materialproben in Plattenform mit einer Dicke von 3mm hergestellt. Die Platten werden für 60s in flüssigem Stickstoff gekühlt und anschließend mechanisch gebrochen. Durch die niedrige Temperatur wird eine plasti-

sche Verformung der Polymermatrix verhindert. Der Grenzbereich zwischen Matrix und Hohlkugeln wird mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM) betrachtet.

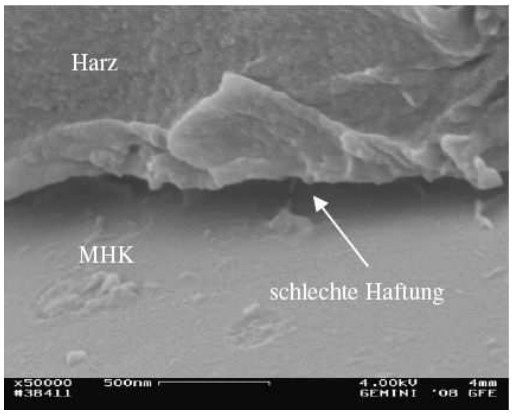


Abb. 1: Grenzbereich (Probe mit befeuchteten MHK) in 50.000-facher Vergrößerung

Abb. 1 zeigt den Grenzbereich zwischen Polymermatrix und MHK der Materialprobe mit den befeuchteten MHK. Hier ist ein Spalt zwischen der Polymermatrix und der Mikrohohlkugel zu erkennen, welcher auf eine schlechte Haftung zwischen Mikrohohlkugel und Harz schließen lässt.

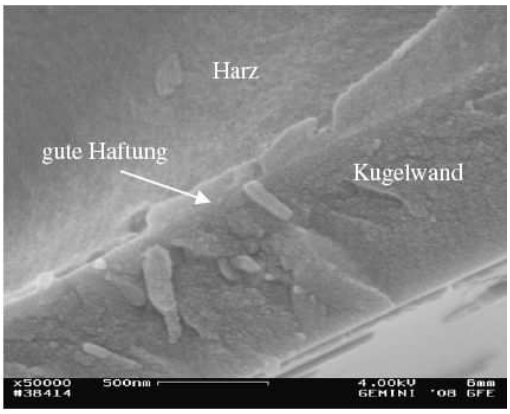


Abb. 2: Grenzbereich (Probe mit silanisierten MHK) in 50.000-facher Vergrößerung

Bei der Materialprobe mit den silanisierten MHK kann hingegen zwischen Harz und Mikrohohlkugel kein Spalt festgestellt werden (Abb. 2). Daraus lässt sich im Vergleich zur Probe mit den befeuchteten MHK eine bessere Haftung ableiten.

Abb. 3: Grenzbereich (Probe mit unbehandelten MHK) 5.000-fache Vergrößerung

Die Materialprobe mit den unbehandelten MHK zeigt sowohl Bereiche mit guter als auch mit schlechter Haftung (Abb. 3). Es wird angenommen, dass dies aus einer unzureichenden Benetzung der Mikrohohlkugeln mit dem flüssigen Harz bei der Herstellung resultiert. Es kann festgehalten werden, dass es möglich ist, mit Hilfe der REM-Aufnahmen die Aussage zu verifizieren, dass die Haftungsqualität mittels unterschiedlicher Oberflächenbeschichtungen der MHK vor Herstellung des Schaums modifiziert werden kann.

Zugbelastung des Materials

Die Zugversuche werden nach DIN EN ISO 527-1 und DIN EN ISO 527-2 durchgeführt (Abb. 4).

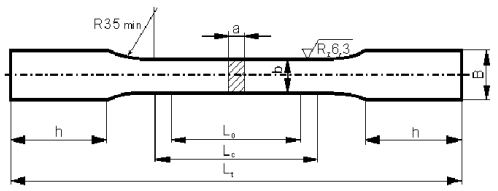


Abb. 4: Zugprobe

Die verwendeten Zugproben haben folgende Abmessungen:

- Probendicke: a = 3,1 mm
- Probenbreite: b = 13,1 mm
- Kopfbreite: B = 25 mm
- Versuchslänge: L_C = 75 mm

- Gesamtlänge: L_t = 160 mm
- Anfangslänge: L_0 = 25 mm

Die Zuggeschwindigkeit der Prüfmaschine beträgt 1mm/min. Die Längenänderung ΔL der Materialprobe wird aufgezeichnet. Von jedem Materialtyp werden sechs Zugproben getestet.

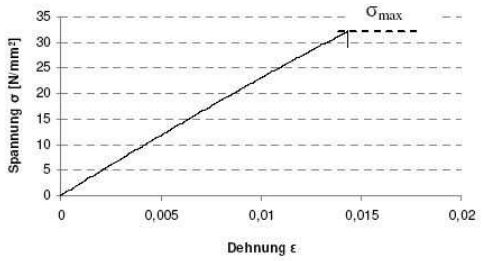


Abb. 5: Spannungs-Dehnungs-Diagramm

Die Messdaten werden in einem Spannungs-Dehnungs-Diagramm dargestellt (Abb. 5). Die Spannung, bei der die Materialprobe reißt, wird als Bruchspannung σ_{max} bezeichnet.

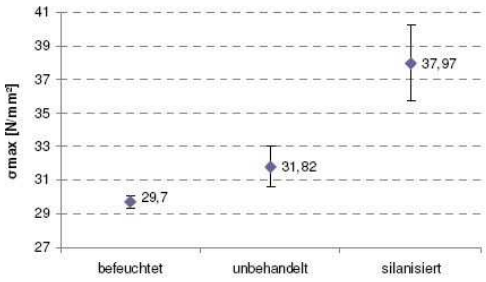


Abb. 6: gemittelte Bruchfestigkeiten der Materialien mit 95 % Vertrauensbereich

Das Isoliersystem, bei welchem durch die befeuchteten Oberflächen der MHK die schlechteste Haftung vorliegt, weist die geringste Bruchspannung auf (Abb. 6). Der Isolierstoff mit den silanisierten MHK weist sowohl die beste Haftung als auch die höchste Bruchfestigkeit auf. Den Ergebnissen ist zu entnehmen, dass ein Zusammenhang zwischen der Haftungsqualität zwischen Polymermatrix und MHK und der Bruchfestigkeit des Gesamtmaterials besteht.

Zusammenfassung

Mittels mechanischer Untersuchungen wird die Haftung verschieden behandelter MHK-oberflächen zum umgebenden Harz verglichen. Es werden unbehandelte, befeuchtete und silanisierte Oberflächen untersucht. Die befeuchteten Oberflächen erzeugen im Vergleich zu den unbehandelten eine schlechtere Haftung der Glaskugel zur umgebenden Harzmatrix. Durch eine silanisierte Oberfläche wird eine verbesserte Haftung erzeugt. Sowohl die REM-Aufnahmen von Materialbrüchen, als auch die bei Zugversuchen ermittelte Bruchfestigkeit können Aussagen über die Haftung liefern.

Quellen

[1] A. Strauchs et al.: *Mechanische Untersuchungen zum Vergleich der Haftung an inneren Grenzflächen in syntaktischem Schaum*, ETG-Fachtagung Grenzflächen in elektrischen Isolierstoffen, Würzburg, September 2008

[2] N. Gupta: *Characterization of syntactic foams and their sandwich composites: modeling and experimental approaches*, Dissertation, Lousiana State University, Aug 2003

Kontakt

Dipl.-Ing. Anja Strauchs
strauchs@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94920

M.Sc. Andrey Mashkin
mashkin@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94939

Mechanical investigations on adhesion of internal interfaces in syntactic foam

Syntactic foam is a composite material consisting of epoxy resin and hollow glass microspheres (HMS). Due to the composite structure, internal interfaces are present inside the material. These interfaces affect mechanical properties of the whole insulation material. The adhesion between polymer matrix and filler can be modified by using diverse surface treatments. An improved adhesion results in a better short time dielectric strength at AC and DC stress [1]. Adhesion investigations can be performed in order to compare different filler treatments for insulation materials.

Introduction

Polymers are used in high voltage components for electrical insulation. Compared to liquid or gaseous insulation materials, polymers are typically rigid. This advantage allows the use of polymers simultaneously for mechanical support purpose. A disadvantage is the density of polymers, which is higher than those of gas or oil insulations. Gas filled polymers are a good compromise between solid and gaseous insulation materials. Syntactic foam, which consists of a polymer-matrix and microspheric filler, is a special kind of them. The syntactic foam, which is investigated here, consists of hollow glass microspheres and an epoxy-resin. Its advantages are low specific density and good mechanical as well as electrical properties. The adhesion quality at the inner interfaces between epoxy matrix and the glass microspheres can be varied by changing the filler surface treatment before the casting. With the mechanical investigations on the syntactic foam, consisting of low temperature crack and tensile tests, the adhesion at the interfaces can be examined. An important precondition for performing this test method is the use of fillers with same average sizes. The mechanical properties of the whole syntactic foam are affected according to [2] by wall thickness and diameter of the microspheres. To achieve the comparability, the same microsphere type with different surface treatments is investigated here. Two kinds of surface treatments are applied. The reference syntactic foam consists of untreated filler. The investigated syntactic foam is filled to 40 vol.% with hollow microspheres, which mean diameter is 60 μm. To reduce adhesion on inner interfaces, untreated microspheres are moistened in water-vapor before casting. To improve adhesion, microspheres with silane treated surface are used.

Material crack

Material samples in the form of plates with a thickness of 3mm are used for low temperature crack tests. The samples are frozen for 60s in liquid nitrogen and subsequently cracked mechanically. Due to liquid nitrogen freezing, a plastic deformation of the epoxy resin matrix can be avoided.

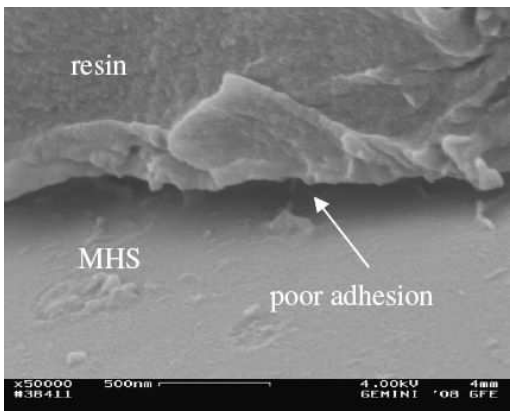


Fig. 1: Interface (sample with moistened HMS) with zoom factor of 50.000

The interface character between epoxy resin and microspheres on the crack surface is observed with a Scanning Electron Microscopy (SEM) to examine the adhesion quality. The interface between a moistened microsphere and the epoxy matrix is shown in fig. 1. A gap in the interface between resin and microsphere can be observed, indicating poor adhesion quality between epoxy resin and glass microsphere.

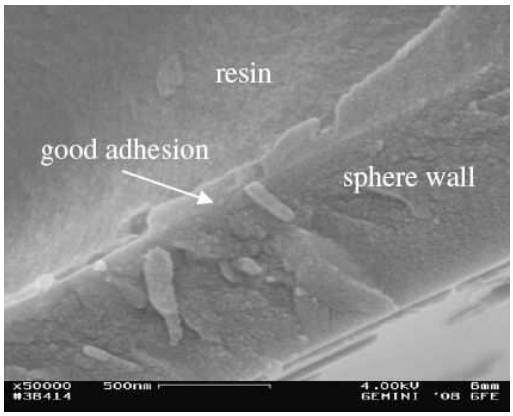


Fig. 2: Interface (sample with silane treated HMS) with zoom factor of 50.000

On the crack surfaces of material samples with silane treated microspheres, no gap in the interface can be found (fig. 2). This indicates a better adhesion, compared to samples with moistened filler surface.

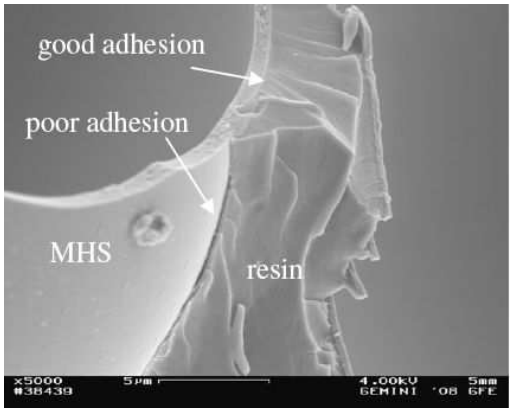


Fig. 3: Interface (sample with untreated HMS) with zoom factor of 5.000

Material samples with untreated microspheres have on their crack surfaces several interface areas with good adhesion, but also several areas with gaps in the interface (fig. 3). It can be assumed, that these different interface areas are a result of a bad wetting. It can be stated, that with low temperature cracks and SEM microscopy of the crack surface, a qualitative examination of adhesion quality is possible. It is also confirmed, that the adhesion quality can be modified by use of glass microsphere surface treatments.

Tensile tests

The tensile tests are performed according to DIN EN ISO 527-1 and DIN EN ISO 527-2 (fig. 4).

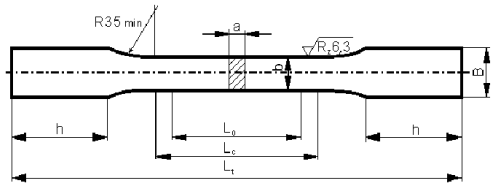


Fig. 4: sample for tensile tests

The samples for the tensile tests have the following dimensions:

- thickness: a = 3,1 mm
- sample width: b = 13,1 mm
- grip width: B = 25 mm
- gauge length: L_C = 75 mm
- total length: L_t = 160 mm
- start length: L_0 = 25 mm

The tensile speed is 1mm/min, whereas the elongation ΔL is recorded. Six samples per material are tested.

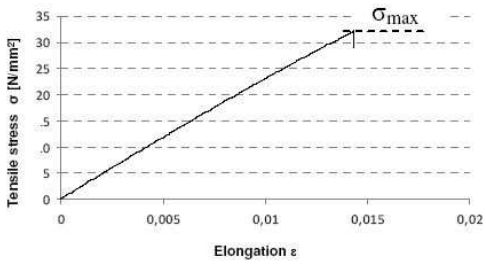


Fig. 5: stress-strain-curve

The test results are presented as stress-stain-curves (fig. 5). The maximal stress

called tensile strength σ_{max} can be used to evaluate the adhesion.

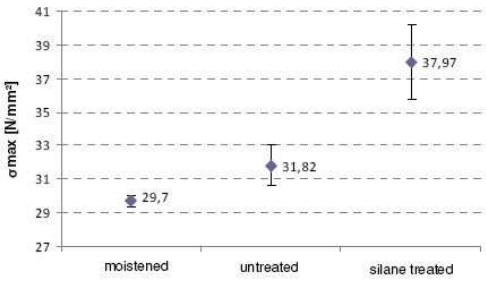


Fig. 6: avarage tensile strength of the different materials with a 95% convidence interval

The material with moistened HMS and poor adhesion have the lowest tensile strength (fig. 6). The insulation material with silane treated HMS has the best adhesion and the highest tensile strength. For this method it could be stated, that by means of tensile tests a quantitative comparison of adhesion quality inside different syntactic foams is possible. It is also confirmed, that the adhesion quality is related to tensile strength.

Summary

By means of mechanical tests, it is possible to compare adhesion between glass microspheres and epoxy resin matrix at different filler treatments. Untreated, silane treated and moistened microspere surfaces have been investigated here. Moistened microspheres have lower adhesion quality between microsphere glass and epoxy matrix in comparison to untreated microspheres. It is shown, that adhesion quality can be improved by use of silane treated microspheres. Both types of used tests methods, SEM observation of low temperature cracks and evaluation of tensile tests by tensile strength calculating, can be used to examine the adhesion.

References

[1] A. Strauchs et al.: *Mechanische Untersuchungen zum Vergleich der Haftung an inneren Grenzflächen in syntaktischem Schaum*, ETG-Fachtagung Grenzflächen in elektrischen Isolierstoffen, Würzburg, September 2008

[2] N. Gupta: *Characterization of syntactic foams and their sandwich composites: modeling and experimental approaches*, Dissertation, Lousiana State University, Aug 2003

Contact

Dipl.-Ing. Anja Strauchs
strauchs@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94920

M.Sc. Andrey Mashkin
mashkin@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94939

Temperaturmessung mittels Ultraschall

Ein sicherer und wirtschaftlicher Betrieb elektrischer Isoliersysteme stellt hohe Ansprüche an die Isolierstoffe, wobei oftmals Polymere zum Einsatz kommen. In der Produktion polymerer Isoliersysteme ist die Temperatur ein wichtiger Prozessparameter, da durch diese die Vernetzungsprozesse maßgeblich beeinflusst werden. Unter Ausnutzung der thermischen Einflüsse auf die akustischen Materialeigenschaften der Polymere wird analysiert, in wie weit die Temperatur im Inneren von Isoliersystemen mittels Ultraschall bestimmt werden kann, um den Produktionsprozess hinsichtlich der Temperatur zu überwachen.

Einleitung

In der Herstellung moderner polymerer Isoliersysteme ist Kosteneffizienz und einwandfreie Qualität eine grundlegende Voraussetzung. Dabei spielt der Produktionsprozess hinsichtlich der Kosten im Vergleich zu den Materialkosten die übergeordnete Rolle. Der Herstellungsprozess von Polymeren ist durch die Vernetzung charakterisiert. Fur die Vernetzung selbst ist die Temperatur ein Schlüsselparameter. Zur Sicherstellung einer gleich bleibenden Qualität des Isolierstoffes muss die Temperatur während der Produktion innerhalb eines bestimmten Bereiches liegen. Die Kenntnis der inneren Temperatur bietet somit die Möglichkeit der Kontrolle und damit einer Regelung bzw. Optimierung des Produktionsprozesses. Am Beispiel von EPDM, welches in der Kabel- und Kabelgarnituren-produktion Einsatz findet, werden die thermischen Einflüsse auf die Ultraschalldiagnostik untersucht. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Schallreflexion an inneren Grenzflächen polymerer Isoliersysteme und ihrer Auswertbarkeit hinsichtlich einer Bestimmung der inneren lokalen Temperatur.

Thermische Abhängigkeit des Reflexionsverhaltens

Eine Betrachtung des thermischen Einflusses auf die Ultraschalldiagnostik steht im direkten Zusammenhang mit den akustischen Materialeigenschaften. Dabei ist jedes Medium, in dem sich Schall ausbreitet, durch eine Schallkennimpedanz charakterisiert. An einer Grenzfläche zwischen zwei Medien unterschiedlicher Schallkennimpedanz Z_1 und Z_2 tritt eine Schallreflexion auf. Der sich aus den Schallkennimpedanzen ergebene Reflexionsfaktor stellt dabei das Maß der Reflexion an der Grenzfläche dar [2].

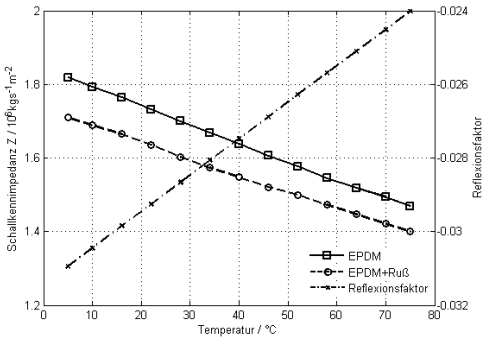


Abb. 1: Schallkennimpedanzen von EPDM und leitfähigem EPDM in Abhängigkeit der Temperatur

In Abb. 1 sind die Schallkennimpedanzen von EPDM und leitfähigem EPDM, welches beispielsweise in Kabelmuffen zur Feldsteuerung eingesetzt wird, dargestellt. Die Schallkennimpedanzen zeigen über die Temperatur eine deutliche Abnahme von ca. 18% über 70°C. Für die Modellierung des Reflexionsfaktors (Abb. 1), welcher aus den Schallkennimpedanzen ermittelt wird, ergeben sich aufgrund der Ähnlichkeit der Steigung beider Schallkennimpedanzen über der Temperatur nur

kleine Werte für die Schallreflexion zwischen 3% und 2% über 70°C, die zudem betragsmäßig zu höheren Temperaturen abnehmen [3]. Die geringe Reflexion liegt darin begründet, dass es sich bei den aneinandergrenzenden Medien um die gleiche EPDM-Matrix handelt, die sich lediglich durch die Ruß-Füllung zur Herstellung der Leitfähigkeit unterscheiden. Zusätzlich besitzen polymere Kunststoffe eine betragsmäßig hohe Schalldämpfung von bis zu 4000 dB/m, welche in der Regel ebenfalls temperaturabhängig ist [2,3]. Somit wird ein Ultraschallsignal zum einen durch die Schalldämpfung während der Ausbreitung im Medium und zum zweiten durch das Reflexionsverhalten an der Grenzfläche beeinflusst.
Praktische Versuche zeigen, dass die reflektierte Schalldruckamplitude über die Temperatur deutlich ansteigt. Den Verlauf der gemessenen reflektierten Schalldruckamplitude zeigt Abb. 2.

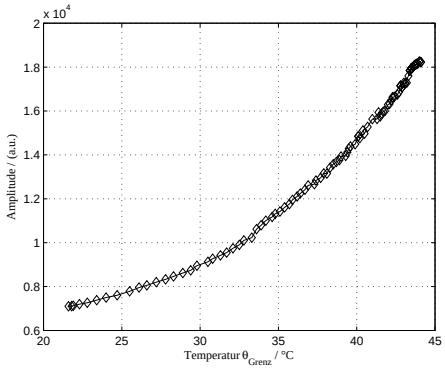


Abb. 2: Reflektierte Schalldruckamplitude über der Grenzflächentemperatur

Die Diskrepanz zwischen modellierter Reflexion und gemessener Schalldruckamplitude liegt in der Schalldämpfung des Ausbreitungsmediums begründet, welche bei steigender Temperatur abnimmt. Somit wird der thermische Einfluss auf das Reflexionsverhalten der Grenzfläche von der Abnahme der Schalldämpfung im Ausbreitungsmedium überlagert und bestimmt. Unter Berücksichtigung der Schalldämpfung im Ausbreitungsmedium und einer Kompensation des gemessenen Schallsignals lässt sich das Reflexionsverhalten an der Grenzfläche auswerten.

Zusammenfassung und Ausblick

In den akustischen Materialkenngrößen von Polymeren ist eine Abhängigkeit der Reflexion an inneren Grenzflächen von der Temperatur nachweisbar. Das Reflexionsverhalten wird dabei durch die Abnahme der Schalldämpfung im Ausbreitungsmedium vor der Grenzfläche überlagert, weshalb es nötig ist, den Effekt der Schalldämpfung zu kompensieren. Die Entwicklung eines Verfahrens zu Schalldämpfungskompensation von Ultraschallmesssignalen ist Gegenstand der aktuellen Forschung und soll die Möglichkeit bieten, eine Aussage über die absolute Temperatur im Inneren von Isoliersystemen treffen zu können.

Quellen

[1] H. Dominghaus: *Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften*, Springer 2005, ISBN: 3-540-21410-0

[2] J. Krautkrämer, H. Krautkrämer: *Werkstoffprüfung mit Ultraschall*, Springer 1986, ISBN: 3-540-15754-9

[3] G. Schütte, T. Wirz, A. Schnettler: *Temperaturmessung mittles Ultraschall unter Ausnutzung des temperaturabhängigen Reflexionsverhaltens an Grenzflächen in polymeren Isoliersystemen*, ETG-Fachbericht 112, Seite 203, ETG Würzburg 2008

Kontakt

Dipl.-Ing. Gregor Schütte
schuette@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94910

Temperature measurement using ultrasonic diagnosis

For economical and reliable operation of electrical insulation systems polymeric insulation material have to fulfil highest requirements. During production process the temperature is a major parameter due to its huge influence on the cross-linking-process of polymers. Investigations focus on the analysis, how far it is possible to measure and monitor the temperature inside of insulating components using thermal effects of the acoustic material characteristics of used polymers.

Introduction

During production process of modern insulation systems there is a special attention to cost efficiency and faultless quality. Compared to the production process the material costs are much lower. For cross-linking, which is characterising for those productions, the temperature is a key parameter [1]. To assure a continous quality of the insulating material the temperature has to be in a certain range. So knowledge of the inner temperature during producion allows an adjustment and optimization of the production process. Using the example of EPDM, which is used in cable industry, the thermal influences on the ultrasonic diagnosis are investigated. Special attention is turned to the sound refelction at interfaces inside of polymer insulation systems regarding an identification of the local inner temperature.

Thermal dependency of the reflection of sound

Between thermal influence on ultrasonic diagnosis and the thermo-acoustical material characteristics there is a direct correlation. Any material, sound is propagating, is characterised by a sound impedance. An interface between two materials of different sound impedances Z_1 and Z_2 causes a reflection of sound. The magnitude of reflection at this interface is defined by the reflection coefficient [2].

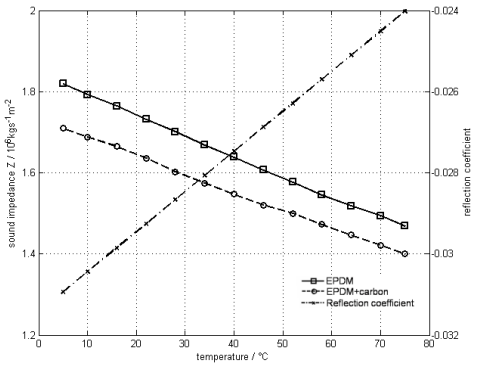


Abb. 1: Sound impedances of EPDM and conducting EPDM dependent on temperature

Fig. 1 shows the sound impedances of EPDM and conducting EPDM, which is used in high voltage cable joint for field controlling for example. The impedances show a decrease over temperature of about 18% in 70°C. For a model of the reflection coefficient (Fig. 1), which is calculated from the sound impedances, there are only small values of reflection over temperature due to the high similarity of the sound impedances over temperature between 3% and 2% over 70°C [3]. The reason for such a low reflection is the same polymer-matrix of insulating and conducting EPDM, which only differ in the filling with carbon particles. Additionally polymers have a very high sound attenuation up to 4000 dB/m, which normally also depends on

temperature [2,3]. So the ultrasonic signal is influenced by the high attenuation during propagation in the material on the one hand, on the other hand it is influenced by the reflection at the interface. In practical the amplitude of the reflected ultrasonic signal is clearly increasing with increasing temperature. The curve progression of the reflected amplitude dependent on temperature is shown in figure 2.

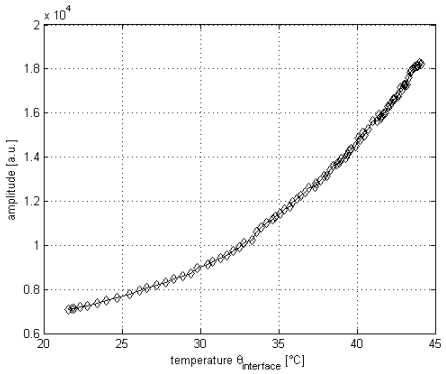


Abb. 2: Reflected sound amplitude dependent on interface temperature

The discrepance between modelling and measured amplitude is founded in the attenuation of the propagation material, which is decreasing with increasing temperature. So the thermal influence on the reflection at the interface is superposed and dominated by the decreasing attenuation. Considering the attenuation of sound and a compensation of its effect on the measured ultrasonic signal, the reflection at the inner interface is evaluable.

Conclusions and Outlook

The acoustic material characteristics and the reflection at interfaces of polymers show a clear dependency on temperature. The reflection is dominated by the effect of decreasing attenuation. For an analysis of the reflection at the interface it is necessary to compensate the thermal effect on the attenuation. The development of an algorithm for compensation of the attenuation is a topic of running investigations and shall allow a predication about the temperature inside of polymer insulation systems.

References

[1] H. Dominighaus: *Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften*, Springer 2005, ISBN: 3-540-21410-0

[2] J. Krautkrämer, H. Krautkrämer: *Werkstoffprüfung mit Ultraschall*, Springer 1986, ISBN: 3-540-15754-9

[3] G. Schütte, T. Wirz, A. Schnettler: *Temperaturmessung mittles Ultraschall unter Ausnutzung des temperaturabhängigen Reflexionsverhaltens an Grenzflächen in polymeren Isoliersystemen*, ETG-Fachbericht 112, page 203, ETG Würzburg 2008

Contact

Dipl.-Ing. Gregor Schütte
schuette@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94910

Fahrzeuge im Stromnetz „Flottenversuch Elektromobilität“

Der Flottenversuch Elektromobilität ist ein vom Umweltministerium initiiertes Projekt, an dem sich neben dem federführenden Automobilhersteller VW und dem Energieversorger E.ON, sechs weitere deutsche Kooperationspartner an der Integration einer elektrifizierten Fahrzeugflotte beteiligen. Das Institut für Hochspannungstechnik untersucht das Einsatzpotenzial der zukünftig mobilen Energiespeicher und der sich hieraus neu erschließenden Anwendungsmöglichkeiten der Systemdienstleistungen sowie die einhergehenden implikativen Faktoren auf die Verteilnetze. Hierzu werden 20 von VW zur Verfügung gestellte Hybridfahrzeuge - ausgestattet mit bidirektionalen Ladeeinrichtungen -, die über die Beladung hinaus eine Rückspeisung gespeicherter Energie in das Verteilnetz erlaubt, im Alltag bewegt, um damit Erfahrungen als auch Weiterentwicklungen in Richtung emissionsfreier Mobilität voranzutreiben. Das Projekt befasst sich deshalb mit den Potenzialen der Elektromobilität und untersucht die Umsetzbarkeit der unterstützenden Energieversorgung durch Elektrofahrzeuge.

Einleitung

Individualmobilität ist eines der Grundprinzipien heutiger Gesellschaften. Allerdings trägt der PKW-Verkehr mit insgesamt 14% zur Gesamt CO_2-Bilanz in Deutschland bei und steht dem einhergehenden Klimawandel, den steigenden Energiekosten und der Ressourcenverknappung gegenüber [1]. Eine Elektrifizierung des Individualverkehrs bietet neben emissionssenkendem Potenzial und der Möglichkeit einer weitreichenden Integration erneuerbarer Energien, die Bereitstellung von Systemdienstleistungen auf Verteilnetzebene und damit einen stützenden Beitrag, der bislang nur auf Hoch- und Höchstspannungsebene erfolgt. Hier ist, neben dem Fall der Einspeisung in das Netz, auch der Bezug elektrischer Energie aus dem Netz sowohl zu Speicherzwecken als auch zur Bereitstellung der täglichen Fahrleistung zu berücksichtigen, da sich dieser mit dem herkömmlichen Bezug überlagert.

Die Einbindung elektrischer Fahrzeuge in die elektrischen Versorgungsnetze stellt insbesondere für die Infrastruktur eine technologische Herausforderung dar, da in den bisherigen Planungsgrundlagen der Verteilnetze eine mögliche Lastflussumkehr,-bedingt durch Rückspeisungen ins Netz - nicht berücksichtigt wurde, die neben Spannungsbandverletzungen ebenfalls Resonanzphänomene hervorrufen können. Daher werden Untersuchungen angestrebt, die das Verhalten gegenwärtiger Netzstrukturen vergleichend gegenüberstellen, um daraus bewertende Aussagen im Hinblick auf die Integrationsfähigkeit elektrischer Fahrzeuge in das Stromnetz erhalten zu können. Infolgedessen dient eine Klassifizierung vielfältiger Netzstrukturen in möglichst allgemeine und repräsentative Cluster als Basis hinsichtlich charakteristischer Aussagen für die Aufnahmefähigkeit dieser Strukturen. Weiterhin werden unter Berücksichtigung möglicher Mobilitätsmuster und Batteriecharakteristika, der fahrleistungsbedingt zusätzlich induzierte Strombedarf ermittelt sowie durch Betrachtung potenzieller Geschäftsmodelle, die Rückspeisung in überlagerte Spannungsebenen mit ihren möglichen Konsequenzen untersucht. Ferner ergeben sich durch leistungselektronische Kopplung der Fahrzeuge an das elek-

trische Netz und damit duale Nutzung des Speichers, weitere Potenziale für stützende Funktionen insbesondere in Fällen eines Fehlers, wobei Aspekte der Spannungs- sowie Frequenzhaltung den Fokus der Analysen darstellen.

Vorgehensweise

Das Vorgehen ist bestimmt durch ausgewählte Szenarienrechnungen, durch die manifestierte Parameter eine Bandbreite möglicher Entwicklungstendenzen abdecken. Dabei werden die Auswirkungen extremer Einflüsse auf die zukünftige Entwicklung untersucht, um zugleich Aussagen über mögliche denkbare Zukunftsabbilder tätigen zu können. Abhängigkeit von der zur Verfügung stehenden Batterie als auch Fahrzeugtechnologie, der Nutzung und dem Penetrationsgrad werden geeignet als Rahmenbedingungen in die ausgewählten Szenarien eingebunden und an gegenwärtigen Netztopologien der Verteilungsnetze ausgewertet.

Exemplarische Ergebnisse

Um Aussagen für verschiedene Netzstrukturen zu erhalten werden Daten realer, repräsentativer Niederspannungsnetze verwendet. Neben den im Rahmen dieser Untersuchung verwendeten Mobilitätsmustern typischer Nutzergruppen, stellen Batteriecharakteristika mit variablen Lade-/Entladekennlinien wesentliche Bestandteile des daraus resultierenden Strombedarfes der Elektromobilität dar, der schließlich typischen Lasten auf der Niederspannungsebene überlagert ist. Eine zeitlich und örtlich variierende Zahl der Elektrofahrzeuge dient der abschließenden Szenarienanalyse, die mögliche Entwicklungspfade berücksichtigt und potentielle Auswirkungen in Niederspannungsnetzen aufzeigt.

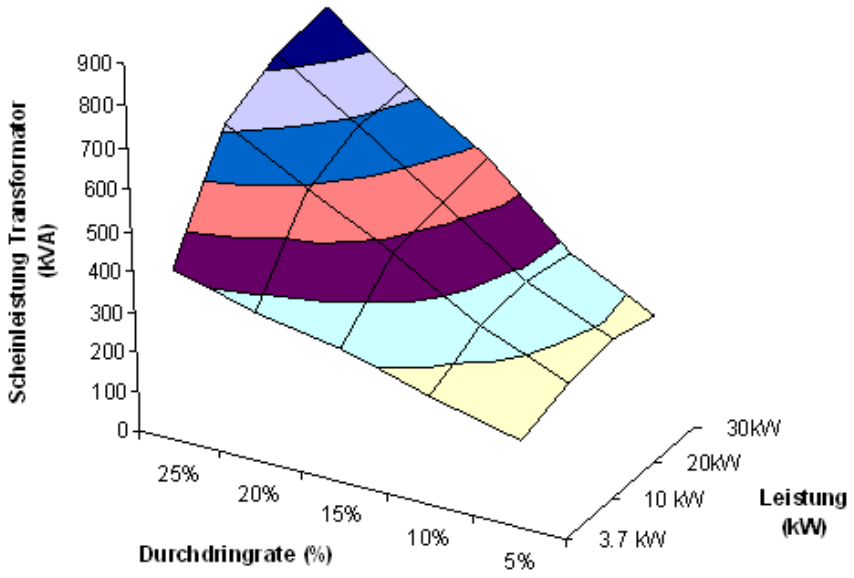


Abb. 1: Ergebnisse der Netzauslastung in einem vorstädtischen Referenznetz

Abbildung 1 zeigt erste Ergebnisse einer mittels variabler Szenarien durchgeführten Lastflussrechnung für ein vorstädtisches Referenznetz. Hierbei sind aufgrund der Struktur des untersuchten Netzes nicht die absoluten Zahlen von Interesse, sondern vielmehr die qualitativen Aussagen zu bewerten. Dargestellt ist die Abhängigkeit der gesamten Scheinleistung vom Grad der Durchdringung sowie der jeweiligen Anschlussleistung der Batterie, die sich aus der Überlagerung ladender Fahrzeuge mit den zeitlich variablen Haushaltslasten zusammensetzt. Für das exemplarisch aufgeführte Referenznetz kann festgehalten werden, dass bei einer Fahrzeugdurchdringung von 2,5% aller Haushalte (entsprechend 1.000.000 Fahrzeugen bundesweit) keine Überschreitungen der zulässigen Belastungen festgestellt werden konnten, die hierbei oberhalb einer Dauerlastfähigkeit von 630kVA liegt. Erst bei dreiphasig realisierten mittleren Leistungen (14 kW) kommt es im Falle hoher Durchdringung zu lokalen Überlastungen.

Folgend aus kürzeren Ladezeiten bei steigender Anschlussleistung, kann im Wesentlichen eine nicht lineare Zunahme der gesamten Scheinleistung beobachtet werden. Der reduzierte Gleichzeitigkeitsgrad überlagerter Ladung eines Fahrzeugkollektivs weist demnach Möglichkeiten zur Determinierung einer maximalen Batterieleistung einhergehend mit einer Optimierung der Netzauslastung auf.

Die gewonnenen Erkenntnisse lassen erste Rückschlüsse über die Aufnahmefähigkeit der Verteilnetze zu. Allerdings kann ebenfalls festgehalten werden, dass eine Übertragung der Ergebnisse auf weitere Verteilnetze nur bedingt Rückschlüsse auf deren Aufnahmefähigkeit zulassen, da diese unterschiedlichen Planungsgrundlagen unterworfen wurden und deshalb in den Strukturen stark abweichen.

Zusammenfassung und Ausblick

Durch das Potenzial zur dualen Nutzung der mobilen Speicher und durch den zusätzlich induzierten Strombedarf ladender Elektrofahrzeuge ergeben sich neue Herausforderungen für die elektrische Infrastruktur. Daher sollen weitere Analysen sollen Aufschluss über Anforderungen an zukünftige Netzstrukturen und an Netzanschlussregeln für Fahrzeuge leisten, die eine optimale Nutzung der mobilen Speicher erlauben. Es wurde ebenfalls gezeigt, dass die Aufnahmefähigkeit der Netze im Wesentlichen durch die Charakteristik der Fahrzeugnutzer bestimmt ist, weshalb eine genaue Modellierung im Zusammenhang mit einer möglichen Ladeinfrastruktur notwendig ist.

Quellen

[1] *Sachstand und Eckpunkte zum Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität*, Nationale Strategiekonferenz Elektromobilität Berlin, 25./26. November 2008

Kontakt

Dipl.-Ing. Thomas Dederichs
dederichs@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94934

M.Sc. Thomas Pollok
pollok@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94958

Connecting electric vehicles to the grid „Flottenversuch Elektromobilität“

The fleet trial e-mobility is a a project initiated by the German Ministry of the Environment, led by car manufacturer Volkswagen and utility E.ON, conducted by six research institutes focusing on the integration of electric vehicles into existing distribution gris. The Institute for High Voltage Technology has been chosen to assess the potential of using future mobile energy storages for grid services and analyse their impact on power grid assets. Within the project 20 plug-in hybrid vehicles (PHEV) based on the Volkswagen Golf model equipped with bi-directional grid connections allowing the feedback of electric energy will be used on a day-to-day basis in order to gain experience in the field of emission-free mobility. The project therefore aims at determining the potential of electric mobility and analyses the feasibility of electric vehicles supporting energy related system services.

Introduction

Private transportation is a central pillar of today’s society. Nonetheless individual traffic contributes to approximately 14% of CO_2 emissions in Germany and conflicts with the imminent climate change, rising energy costs and the shortage of resources [1]. The electrification of private transportation offers a chance to reduce greenhouse gas emissions, relocate emissions outside of urban areas and support the extensive integration of renewable energies. Furthermore it could provide system services on distribution grid level, which have been confined to the high voltage transmission system. Besides feeding in electric power into the grid, there should also be considered the flexible charging of electric vehicles in order to store energy for supplying the daily demand for driving. Since this process interferes with regular load patterns, special attention is needed.

The introduction of electric vehicles into distribution grids poses severe technological challenges for the infrastructure, since changes in current direction have not been taken into account when planning electric grids. However changes in current direction are not the only problems associated with electric vehicles feed-in. Exceeding of allowed voltage ranges and resonance phenomena are just two more aspects to be considered. Because of this analyses are needed, that compare current and future grid structures in order to derive results regarding the ability of distribution grids to integrate electric vehicles. A classification of the very wide range of grid types is needed for an holistic assessment and represantative clustering as base of characterization for the integration capacity of these structures. Furthermore the additionally induced electricity demand due to mobility needs is identified under consideration of possible mobility patterns and battery characteristics as well as the consequences of potential business models leading to changes in current direction. The inverter-based coupling of electric vehicles to the grid and the dual utilisation of the electric storage offer high potential for stabilizing the grid infrastructure in case of failures, putting special focus on aspects of voltage and frequency control.

Approach

The approach is based on a scenario analysis, in which certain influencing parameters are chosen in order to examine the spread

of possible developments. The impact of worst case scenarios are being analysed by combining extreme parameter values which give valuable insights into imaginable future trends. Depending on the available battery and vehicle technology, their utilisation and penetration rate distinguishable scenarios are selected and used to evaluate actual distribution grid topologies.

Exemplary Results

In order to allow conclusions for miscellaneous grid structures several representative low voltage grids are being examined. There are several relevant input parameters. Besides driving behaviour and mobility patterns these are battery specifics including charging and discharging curves as well as probabilistic low voltage loads due to private electricity demand. Varying the number of electric vehicles over time and place is used to strengthen the results gained by the scenario analysis and to consider possible development paths and show potential impacts on low voltage distribution grids. The following figure shows first results of load flow calculations done within the scenario analysis for a suburban reference grid. Due to the structure of the examined grid the main focus lies not on the resulting absolute values, but on the emerging patterns. Shown within the figure are the apparent power seen at the secondary substation depending on penetration rate and power connection of the electric vehicles superimposed with the conventional load of the connected households. Even with the penetration rate reaching 2.5% of all households being equipped with electric vehicles (this would equal approximately 1,000,000 vehicles in Germany) no conditions can be found inside the exemplary suburban reference grid, where the permanent load of the transformer unit exceeds 630kVA. Local overloads are not expected until three-phase connections offering medium power (14 kW) and high penetration rates are introduced into the grids.

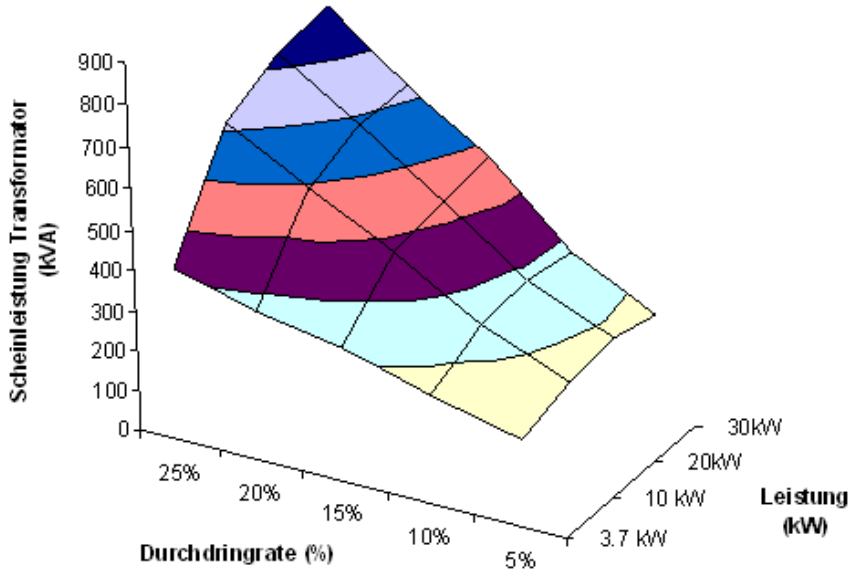


Abb. 1: Resulting utilisation of a suburban reference grid

Due to higher power connections accompanied by shorter recharging durations there is a non-linear increase in apparent power. However at the same time the concurrence of cars charging simultaneously is signficantly reduced, thus offering the opportunity of determining an optimized combination of battery capacity and connection power while taking conventional load into account.
The findings allow first conclusions to be drawn regarding the integration capacity of distribution grids. However because of the wide variation of distribution grid topologies and structural differences these conclusions can not be easily transfered. A closer look at other grids is therefor planned as a next step.

Summary and Outlook

Due to the potential of dual usage of mobile storages and the additional electricity demand of charging electric vehicles arises a new challenge for the electric infrastructure. Because of this further analyses are needed to shed light on the requirements for future grid structures and grid codes for vehicles allowing an optimal usage of mobile storages. It could be shown that the integration capacity of distribution grids is mainly influenced by the characteristic charging behaviour of vehicle owners, thus requiring an accurate modelling of the utilisation of charging equipment.

References

[1] *Sachstand und Eckpunkte zum Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität*, Nationale Strategiekonferenz Elektromobilität Berlin, 25./26. November 2008

Contact

Dipl.-Ing. Thomas Dederichs
dederichs@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94934

M.Sc. Thomas Pollok
pollok@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94958

Auswirkungen von Maßnahmen zur Dynamisierung von Freileitungssystemen

Die Auslegung elektrischer Übertragungssysteme basiert auf einem gerichteten Lastfluss vom Kraftwerk zum Endkunden. Infolge der Windenergieintegration überschreitet die regional verfügbare elektrische Energie die Verbraucherlast zum Teil deutlich. Daher und wegen des internationalen Stromhandels wird die Kapazität bestehender Freileitungen überschritten. Zukünftig treten deshalb vermehrt Netzengpässe auch auf der Verteilungsnetzebene auf.

Einleitung

Die Auslastung von Energieversogungsnetzen steigt, während der notwendige Netzausbau nicht mit der Anschlussrate von Windenergieanlagen (WEA) mithalten kann. Alternative Maßnahmen zur Dynamisierung der Netze treten in den Vordergrund, um den neuen Anforderungen gerecht zu werden. Dieser Bericht stellt die Bewertung des Einsatzes von WEA Erzeugungsmanagements (Erzman), des Freileitungs-Monitorings (FLM) und des Einsatzes von ACCR- (Aluminum Conductor Composite Reinforced) sowie TACSR-Hochtemperaturleitern (Thermal Resistant Al. Conductor Steel Reinforced) in einem 110 kV Verteilungsnetz dar. Die Maßnahmen werden nach technischen, monetären und ökologischen Aspekten untersucht.

Technisch ist die Einhaltung des n-1 Kriteriums Voraussetzung. Zusätzlich werden Leitungsverluste sowie die eingespeiste bzw. in das Übertragungsnetz exportierte Windenergie bestimmt. Monetäre Aspekte sind Leitungsverluste, Investitionen, Wartung und Entschädigungen für nicht eingespeiste WEA-Energie (gemäß EEG 2009 [1] ab 2009 zu entschädigen). Ökologisch werden der Energieverbrauch, die Leitungsverluste, der Teillastbetrieb thermischer Kraftwerke sowie der Windenergieexport bewertet.

Zur Bewertung werden Lastflussrechnungnen (Zeitraum 25 a) durchgeführt, in denen verschiedene Lastprofile und Windprofile berücksichtigt werden. Es wird ein Anstieg der installierten Windenergie angenommen.

Beschreibung der Szenarien

Das 110 kV Referenznetz (Abb. 1) hat eine Stromkreislänge von 460 km (ACSR 230/30 Leiter). Die maximale Gesamtlast beträgt 365 MVA. Lastknoten stellen Verbraucher dar (Gewerbe, Handel und Dienstl. (50%), Haushalte (15%) und Landwirtschaft(15%)).

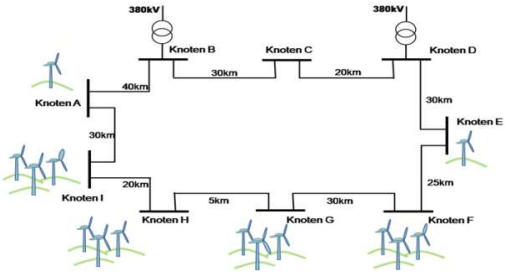


Abb. 1: 110 kV Referenznetz

Erzman begrenzt die Einspeisung der WEA auf ein unkritisches Niveau. Es kann in Kombination mit anderen Maßnahmen eingesetzt werden. Das **Freileitungs-Monitoring** aller Stromkreise kann nach ca. 1 a umgesetzt werden. FLM wird als alleinige Maßnahme (mit Erzman) sowie unterstützend in den Netzausbau- und ACCR-Szenarien bewertet (nur ACSR Leiter).

Der Austausch hoch ausgelasteter ACSR Stromkreise durch ACCR Leiter kann frühestens nach 3 a erfolgen (abhängig von Akzeptanz, Standardisierung und Investi-

tionskosten). Der **Neubau einer Freileitungstrasse** mit TACSR Leitern ist voraussichtlich frühestens nach 4 a möglich (abhängig vom Genehmigungsprozess ist eine längere Zeitspanne wahrscheinlich).

Exemplarische Ergebnisse

Abb. 2 zeigt bei verschiedenen Stufen der Windenergieexpansion die nicht eingespeiste Windenergie für die verschiedenen Szenarien. Das ausschließliche Erzman im Ausgangsszenario ist als Referenz dargestellt. Die untersuchten Maßnahmen werden nach Möglichkeit kombiniert.

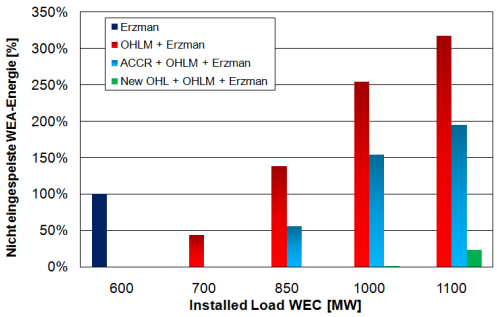


Abb. 2: Nicht eingespeiste WEA-Energie [%]

Generell führen alle Maßnahmen außer Erzman zu höherer Windenergieeinspeisung. Die Umsetzung zeigt Konsequenzen bezüglich der Kosten. „Weiche“ Kosten (Entschädigungen für nicht eingespeiste WEA-Energie) stehen „harten“ Kosten (Investitionen) gegenüber. Zusätzlich ergeben sich negative Auswirkungen auf die Emissionen, wenn Energie mit geringeren spezifischen CO_2-äquivalenten Emissionen aus WEA beschränkt wird. Die nicht exportierte Windenergie kann mit der Differenz zum deutschen Strommix bilanziert werden und wird der jeweiligen Maßnahme als Malus aufgeschlagen.
Abb. 3 zeigt die Bewertung der Treibhausgasemissionen (1 a) bei einer installierten WEA-Leistung von 1100 MW. Nicht die gesamte Windenergie kann eingespeist werden; Erzman wird bei Bedarf eingesetzt. Die bestmögliche Einspeisung wird als Basis referenziert. Daher wird der Malus ausschließlich bei FLM und ACCR aufgeschlagen.

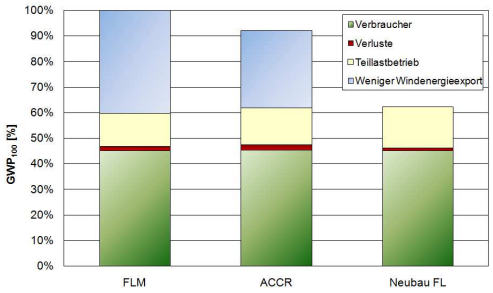


Abb. 3: Treibhausgasemissionen [%]

Offensichtlich entstehen die höchsten Emissionen durch die Deckung der Verbraucherlast. Wird die nicht exportierte Windenergie berücksichtigt, spielen die aufgeschlagenen Malus-Emissionen eine wesentliche Rolle; auch bezüglich der Emissionen besteht entscheidender Bedarf für den Neubau von Freileitungstrassen.

Zusammenfassung

Die Häufigkeit von Netzengpässen kann durch die beschriebenen Maßnahmen reduziert werden. Der Bau einer neuen Freileitungstrasse erzielt aus monetärer sowie aus ökologischer Sicht die besten Ergebnisse. Zu berücksichtigen ist, dass wegen des langwierigen Genehmigungsprozess und wegen der fehlenden gesellschaftlichen Akzeptanz von Neubauprojekten die Umsetzungszeit nur eingeschränkt planbar ist. Daher können auch die gezeigten Übergangslösungen eine wichtige Rolle spielen.

Quellen

[1] *Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien*, Novelle 2009

Kontakt

Dipl.-Ing. Uwe Macharey
Macharey@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94909

Eco-efficiency analysis of technical measures to increase the dynamic of a 110kV distribution system

The design of power grids is based on a directed power flow from plants to consumers. Especially due to local and national wind energy supply regionally there will be lower load demand than generated power. Therefore and due to necessary international power trading, the transmission capacity is exceeded. Hence, in the future bottlenecks will occur more often even in distribution networks.

Introduction

The utilisation of power grids increases. As the necessary grid extension cannot keep up with the connection of Wind Energy Converters (WEC), alternative measures to achieve higher flexibility in power grids come into focus as well to cope with emerging demands. This report deals with the assessment of WEC generation management (Erzman), Overhead line temperature monitoring (OHLM) and the use of High temperature OHL conductors (ACCR (Aluminum Conductor Composite Reinforced) as well as of TACSR (Thermal Resistant Aluminium Conductor Steel Reinforced)) in a 110 kV distribution network.
In doing so, the described measures will be investigated under technical, monetary and ecological (Global Warming Potential) aspects. Technically, the n-1 safety criteria is precondition. Power-losses, fed in and exported (to the transmission grid) wind energy are observed as well. Monetary aspects are power-losses, investments, maintenance and the compensation of omitted incomes of WEC (must be compensated according to EEG 2009 [1]). The assessed ecological criteria are emissions due to consumer loads, power-losses, part load operation of large scale power plants, and less exported wind energy.
To assess the measures power flow calculations for a time-span of 25 years are accomplished regarding standard load profiles of VDEW and different wind profiles. Additionally, an increasing amount of installed wind power is assumed.

Scenario Description

The basic condition HV reference network (Fig. 1) has a circuit length of 460 km (fitted with ACSR 230/30). The overall maximum load is 365 MVA. Load nodes represent customers (trade and commerce (50%), households (35%) and agriculture (15%)).

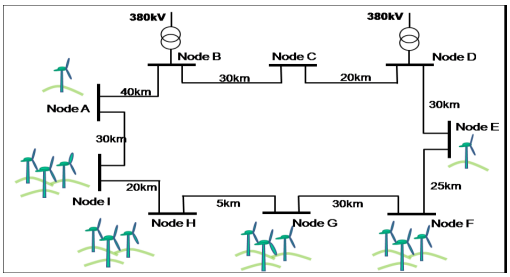


Fig. 1: Basic 110 kV HV distribution network

Erzman restricts the generation of wind energy converters to a feasible level. According to the German Renewable Energy Sources Act (EEG) Erzman must not be the only measure to avoid bottlenecks in the future. **Overhead Line Monitoring** of all circuits can be realized after approximately 1 a. Beneath the assessment of OHLM as singular measure it will be used supportingly (only 230/30 circuits) in grid extension and ACCR scenarios.
The exchange of high utilized circuits, i. e. substitution of ACSR against **ACCR**, can

presumably be realized not earlier than after 3 a (dependent on acceptance, standardisation and investment). A **new overhead line corridor** with TACSR conductor can be realized presumably not earlier than after 4 a (dependent on long-winded approval process for OHL even longer time-span is likely).

Exemplary Results

Against the background of different stages of wind energy expansion Fig. 2 shows the WEC-Power not fed-in for the different scenarios. Erzman as singular approach in the basic case is shown as reference. The obtained measures are combined if possible.

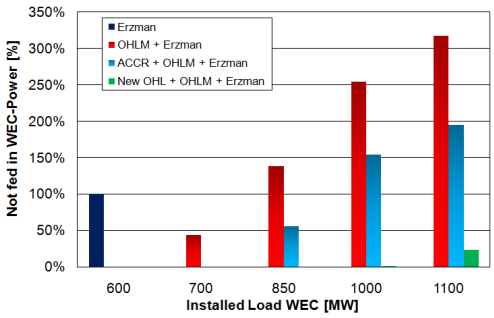


Fig. 2: Not fed in WEC-Power [%]

In general, all measures except of singular Erzman lead to higher wind energy feed in. On the one hand consequences can be expected regarding costs, where “soft” costs to compensate omitted incomes of WEC stay against “hard” costs for investment in measures. On the other hand regarding emissions, energy with less specific CO_2-equivalent emissions (Wind Power) is limited. Not exported energy can be assessed with the difference to German power-mix emissions and might be set as a burden.
Fig. 3 shows the Global Warming Potential assessment of 1 year at an installed wind load of 1100 MW. That means, not all wind energy can be fed in and Erzman will be used on demand. The “best” case is set as base for fed in power. Therefore, the burden is only given for OHLM and ACCR.

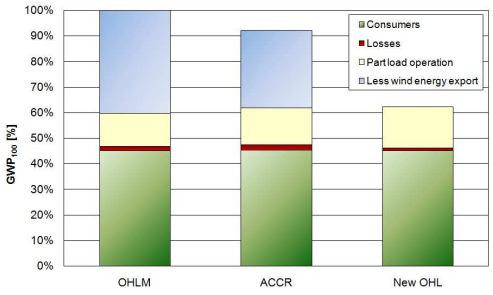


Fig. 3: Global Warming Potential [%]

As shown covering electrical energy demand brings up the highest emissions in all cases. If not exported wind energy is taken into account, burden emissions will play a major roll as well and it becomes vital to enhance transmission capacity by building new overhead lines.

Conclusions

The occurrence of bottlenecks and the amount of not fed in respectively not exported wind energy can be reduced by the described measures. Building new OHL corridors brings up the best solution regarding monetary aspects and emissions as well. However, it has to be taken into account that dependent on the long-winded approval process and the social acceptance for new OHL the realization time is hardly predictable. Therefore, interim solutions may play an important role as well.

References

[1] *Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien*, Amendment 2009

Contact

Dipl.-Ing. Uwe Macharey
Macharey@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94909

Alterungsmodelle für Hochspannungs-Schaltgeräte unter Berücksichtigung der Instandhaltung

Asset Management von Schaltanlagen, mit dem Ziel der optimierten Nutzung der Betriebsmittel, gehört zu den aktuellen Aufgaben der Netzbetreiber. Spezielle Statistiken sowie zugeschnittene Softwarelösungen sind Werkzeuge des Asset Managements und bieten Netzbetreibern eine Unterstützung für ihre Entscheidungen im Spannungsfeld zwischen Kostenreduktion auf der einen und einer angemessenen Versorgungsqualität auf der anderen Seite. Mit Hilfe von spezifischen Alterungsmodellen soll das zukünftige Verhalten von Betriebsmitteln und das Ende deren Lebensdauer prognostiziert werden, wobei die betriebsmittelspezifischen Einflussfaktoren sowie die angewendete Instandhaltung zu berücksichtigen sind.

Motivation

Die Entwicklung verschiedener Alterungsmodelle für Hochspannungs-Betriebsmittel ist das Ziel laufender Forschungsarbeiten. Heute werden Alterungsmodelle in sogenannten Asset Simulationen eingesetzt, um z.B. die mittel- und langfristigen Investitionen abschätzen zu können.
In abgeschlossenen Arbeiten konnten Erkenntnisse über den Einfluss verschiedener Parameter, wie beispielsweise Alter, Schalthäufigkeit und Einsatzbereich auf das Schaden- und Störungsaufkommen von 123 kV Leistungsschaltern in Abhängigkeit von der Lösch- und Antriebs-Technologie gewonnen werden [1,2].
Am IFHT wurden im vergangen Jahr verschiedene Softwaretools entwickelt, die die Betriebsmittel-, Ereignis und Instandhaltungsdaten eines Netzbetreibers systematisch auswerten können.

Alterungsverhalten bei Ist-Instandhaltung

Zur Beschreibung des Alterungsverhaltens kann das Störungsaufkommen in Abhängigkeit des Betriebsmittelalters berechnet werden. Hierfür sind das Inbetriebnahme- und ggf. das Außerbetriebnahme-Datum sowie die Zeitpunkte der Störungen essentiell. Die Regressionsanalyse zur Berechnung des voraussichtlichen Störungsaufkommens bzw. des Alterungsverhaltens erfolgt dabei in Ein-Zehntel-Jahres-Schritten. Abbildung 1 zeigt verschiedene Alterungskurven für 123-kV-Leistungs- und Trennschalter. Dabei beruht der durchgezogene Teil der Linien auf realen Störungsdaten und der gestrichelte Teil stellt lediglich eine Extrapolation der Regressionsanalyse dar. Somit kann indirekt das maximale Betriebsalter der untersuchten Geräte abgelesen werden.
Die Leistungsschalter[1] (PH und PF) zeigen in den ersten Betriebsjahren ein besonders hohes Störungsaufkommen. Diese frühen Störungen sind auf elektronische Bauteile, wie z.B. SF_6-Dichtewächter oder Hilfsschalter, zurückzuführen [1]. Im Gegensatz dazu weisen die untersuchten Drehtrennschalter (DT) keine Inbetriebnahmeprobleme auf. Dies kann auf die einfachere Bauart mit wenig Sekundärtechnik zurückgeführt werden.
Der Leistungsschalter mit hydraulischem Antrieb weist im Mittel eine dreimal so

[1] SF_6-Pufferschalter mit Hydraulik- und Federspeicher-Antrieb (PH und PF)

hohe Störungshäufigkeit auf. Diverse Bauteile des Antriebs sind anfällig für Undichtigkeiten und führen mit höherem Alter zu einem stärkeren Anstieg der Störungshäufigkeit gegenüber den Schaltern mit Federspeicher-Antrieb (PF).

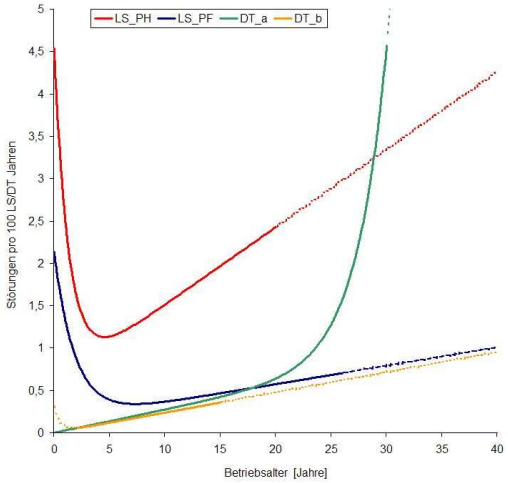


Abb. 1: Alterungsverhalten für Leistungsschalter und Trennschalter

Die Trennschalter zeigen bis zu einem Betriebsalter von etwa 20 Jahren lediglich einen moderaten und linearen Anstieg der Störungen. Der ältere Trennschalter (DTa) weist jedoch ab 25 Jahren einen erheblichen Störungsanstieg auf. In diesem Fall sind die Störungen auf einen defekten Antrieb infolge von Korrosion und einer klebenden Motorbremse zurück zu führen. Trotz durchgeführter Instandhaltung konnten diese Fehler vorher nicht erkannt werden.
Falls die Störungsursache am Antrieb des DTa beim Nachfolger-Modell DTb nicht behoben wurde, ist ebenfalls bei diesem Trennschalter nach dem 20. Betriebsjahr mit einem exponentiell ansteigendem Störungsaufkommen zu rechnen.

Einfluss von Instandhaltung auf das Alterungsverhalten

Die gezeigten Alterungskurven in Abb. 1 ergeben sich aus den Störungsdaten, die über mehrere Jahre dokumentiert wurden. Zusätzlich muss die angewendete Instandhaltung (IH) in dieser Zeit berücksichtigt werden. Die Instandhaltung der untersuchten Leistungsschalter beruht im Betrachtungszeitraum auf einer Inspektion (alle 2 Jahre) und einer Wartung (alle 8 Jahre) [1]. Die Drehtrennschalter werden alle 4 Jahre lediglich durch eine Instandhaltungsmaßnahme inspiziert und gewartet.
Diese Maßnahmen können einen positiven sowie einen negativen Einfluss auf das Alterungsverhalten haben, abhängig davon, ob die Maßnahme bestimmte Schäden erkennt und auch beseitigt, bevor diese zu einer Störung des Betriebes führen oder ob aufgrund von präventiven Maßnahmen zusätzliche Folgestörungen auftreten [1].

Entwicklung eines Schadens zu einer Störung: m2M-Modell

Durch den Verzug einer Instandhaltungsmaßnahme können die üblicherweise entdeckten Schäden nicht behoben werden und können sich somit in der Folgezeit zu einer Störung entwickeln. Der Schadensbefund einer Wartung kann als Ansatz für die zukünftige Störungsentwicklung verwendet werden und das Alterungsverhalten negativ beeinflussen.
Das prognostizierte Störungsaufkommen nach Überschreitung des üblichen Instandhaltungsintervalls ergibt sich dann als Überlagerung des bisher errechneten Störungsgeschehens mit den zusätzlichen Störungen aufgrund von nicht behobenen Schäden. Diese Störungen werden mit Hilfe des m2M-Modells[2] synthetisch generiert. Zur Beschreibung der Schadensentwicklung wird folgende Funktion gewählt (Herleitung siehe [3]).

$$s(t) = \frac{a}{b}(e^{bt} - 1) - a \cdot t$$

[2] m2M: minor to Major failure

Zum Zeitpunkt c hat sich ein Schaden mit Sicherheit zu einer Störung entwickelt. Durch die Bedingung $s(c) = 1$ ergibt sich

$$a = \frac{b}{e^{bc} - bc - 1}$$

und somit die modellierte Schadensentwicklung

$$s(t) = \frac{e^{bt} - bt - 1}{e^{bc} - bc - 1}$$

mit zwei Modellparametern:

- ein Zeitparameter c und
- ein Formparameter b.

Der Formparameter beschreibt dabei den Verlauf der Schadensentwicklung. Dadurch kann die Wahrscheinlichkeit für einen Störungseintritt im Laufe der Zeit beispielsweise linear oder exponentiell wachsen oder sogar konstant bleiben.
Abbildung 2 zeigt die Modellfunktionen für $b = -10$ und $c = 40$, womit die Wahrscheinlichkeit des Übergangs von Schaden zur Störung über 40 Jahre linear ansteigt.

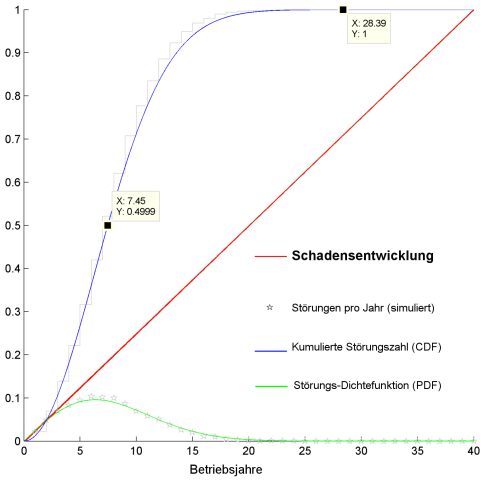


Abb. 2: Modell zur Schadensentwicklung

Da es sich hier um einen nichtregenerativen Prozess handelt, zeigt die Dichtefunktion ihr Maximum in diesem Fall schon bei ca. 8 Jahren. Mit Hilfe von Expertenwissen kann durch die Wahl der Parameter für verschiedene Schadensarten die prognostizierte Entwicklung simuliert werden.

Alterungsverhalten bei einer modifizierten Instandhaltungsstrategie

An dieser Stelle wird lediglich der Leistungsschalter PH betrachtet. Aus dessen Wartungsprotokollen können 46 verschiedene Schadensarten klassifiziert werden. Diesen Schäden wurden insgesamt 8 unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten zum Übergang in eine Störung zugeordnet. Zusätzlich können durch eine Inspektion 20 von 46 Schadensarten erkannt werden.
Beispielhaft wird das Szenario I1W2 mit einen Inspektionsverzug von einem Jahr und einen Wartungsverzug von 2 Jahren betrachtet. Hierbei wird zusätzlich angenommen, dass bei einer Entstörungs-Maßnahme auch die Schäden, die noch nicht zu einer Störung geführt haben, behoben werden.
Abbildung 3 zeigt das Simulationsergebnis der resultierenden Störungsrate aufgrund der veränderten Instandhaltung. Innerhalb der simulierten Zeitspanne von 40 Jahren traten 3 Störungen durch verspätete Inspektionen auf.
Bei einer Population von 250 Schaltern hätte der Wartungsverzug ohne Inspektionen 116 Störungen verursacht. Durch Inspektionen konnten jedoch 18 Schäden entdeckt werden, bevor sie sich zu Störungen entwickeln konnten. Im Durchschnitt steigt das Störungsaufkommen um etwa 50% auf 3 Störungen pro 100 LS Jahren und befindet sich damit noch auf einem hohen Niveau der Betriebsmittelqualität.
Durch die Reduzierung des Instandhaltungs-Aufwands minimieren sich die IH-Kosten um etwa 30%. Das höhere Störungsaufkommen führt jedoch auch zu höheren Entstörungskosten und im schlechtesten Fall sogar zu einer Verkürzung der Nutzungsdauer. Der letzte Fall würde die Minimie-

rung IH-Kosten durch Investitionen in neue Betriebsmittel sehr schnell kompensieren.

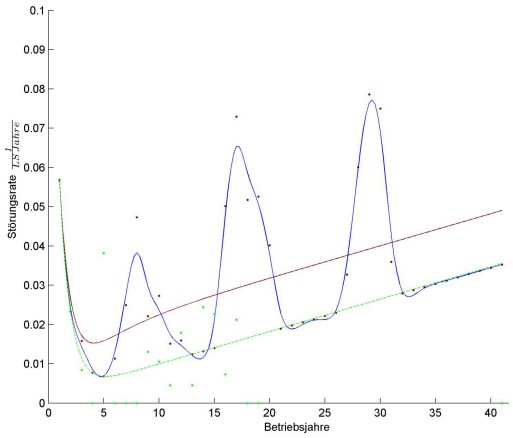


Abb. 3: Simulationsergebnis: Inspektionsverzug 1 Jahr, Wartungsverzug 2 Jahre

Fazit und Ausblick

Das m2M-Modell zeigt sich als ein hilfreiches Werkzeug, wobei gut protokollierte Resultate von IH-Maßnahmen vorausgesetzt werden müssen. In aktuellen Arbeiten werden die statistischen Verfahren des Modells überprüft und bei Bedarf angepasst. Anschließend wird das typspezifische Störungsaufkommen verschiedener Betriebsmitteltypen in Abhängigkeit der IH-Intensität berechnet. Weiterhin wird das m2M-Modell im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse im Hinblick auf weitere Anwendungen untersucht.
Mit einem besseren Wissen über die Parametrierung des Modells könnten weitere Szenarien im Zusammenhang mit einer veränderten IH-Strategie simuliert werden, um dessen Einfluss auf das Betriebsmittelverhalten besser abbilden zu können. Zusätzlich ist es möglich, nicht nur zeitliche, sondern auch inhaltliche Veränderungen von Instandhaltungsmaßnahmen zu bewerten und damit die Effizienz einer Maßnahme zu steigern.
Weiterhin kommen zur Beschreibung des aktuellen Zustands eines Betriebsmittels "künstliche neuronale Netze" zum Einsatz. Mit Hilfe dieser Netze sollen Zustände, die sich aus den Informationen von IH-Protokollen abbilden lassen, modelliert werden. Durch das Training dieser Netze könnte "Experten-Wissen" anhand von vorhandenen Daten "gespeichert" werden.
In zukünftigen Arbeiten werden nach der technischen Bewertung auch wirtschaftliche Betrachtungen in den Fokus gerückt, um den gesamten Prozess der Asset-Optimierung bewerten zu können.

Quellen

[1] S. Federlein, C. Hille, C. Neumann, J. Schneider, A. Schnettler: *Einflussfaktoren auf das Schadens- und Störungsverhalten von 123-kV-Leistungsschaltern*, ew Jg. 107 (2008) Heft 4, Frankfurt, Februar 2008

[2] C. Neumann, G. Balzer, S. Federlein, B. Rusek, J. Schneider, A. Schnettler, C. Schorn, U. Zickler: *Strategy for End of Life Assessment for High Voltage Circuit Breakers*, Cigre Session, A3-101, Paris, August 2008

[3] S. Federlein, C. Hille, A. Gaul, A. Schnettler: *Prognose des Störungsaufkommens eines 123 kV Leistungsschalters bei längeren Wartungszyklen*, Internationaler VDE-Kongress, ETG-P1, München, November 2008

Kontakt

Dipl.-Ing. Stefan Federlein
federlein@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94959

Dipl.-Ing. Christian Hille
hille@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94915

Ageing Models for High Voltage Switching Equipment in Consideration of Maintenance

Asset Management of substations is a current task of network operators with the goal to optimally use equipment. Special statistics and customised software solutions represent asset management tools and offer network operators support in achieving balance between costs on the one hand and appropriate quality of supply on the other. On the basis of specific ageing models the future equipment behaviour and the end of life time will be predicted considering type specific factors and the applied maintenance actions as well.

Motivation

The aim in current research studies is the development of different ageing models for high voltage equipment. Today ageing models are used in e.g. so-called asset simulations to derive the middle and long term investments.
In concluded works, the influence of different parameters such as age, switching frequency and area of operation on the minor and major failure occurrences dependent on the quenching and drive technique of 123 kV circuit breakers can be obtained.
Last year several software tools were implemented at the IFHT to systematically evaluate equipment, event and maintenance data of a system operator.

Ageing Behaviour in Case of Actual Maintenance

The ageing behaviour of the circuit breaker is described on the basis of fault occurrences as a function of operating time. Therefore, the commissioning and possibly decommissioning date as well as the times of failures are essential for this. The regression analysis for the calculation of likely failure occurrence or ageing behaviour is carried out in tenth part steps of a year.

Figure 1 shows different ageing curves for 123 kV circuit breakers and disconnectors. Here the continuous lines illustrate the part based on real failure data and the dashed lines are merely an extrapolation of the regression analysis. Hence, it is possible to determine the operational age of the equipment indirectly.
The circuit breakers [3] (PH and PF) show high failure occurrences especially in the first years of operation. These early failures are caused by defective components in the control unit, e.g. SF_6 density monitor and auxiliary switch [1]. In contrast to this the disconnectors (DT) under consideration have no commissioning problems due to their simple design with less secondary technique.
The failure rate of the circuit breaker with a hydraulic drive (PH) is three times higher than that of circuit breakers with a spring drive (PF). Miscellaneous components of the drive are susceptible to leakages and lead to a stronger increase of the failure frequency in higher operation years. Disconnectors show only a moderate and linear increase of failures up to an age of 20 years. But the failure frequency of the older disconnector (DTa) soars by 25 years. In that case failures are caused by the drive due to corrosion or due to adhesive drive brakes.

[3] SF_6 puffer type with hydraulic and spring drive (PH and PF)

In spite of applied maintenance actions the damages of the drive were not detected.

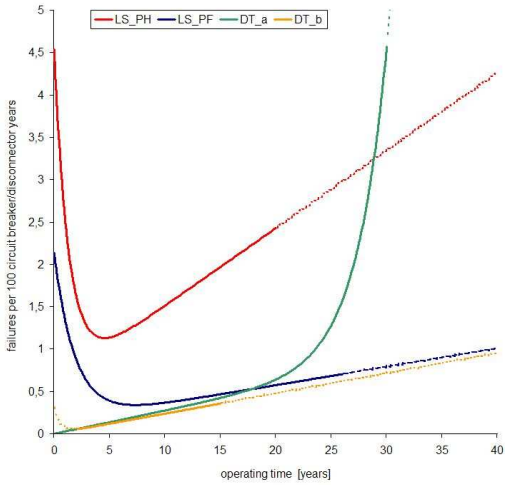


Fig. 1: Ageing behaviour of circuit breakers and disconnectors

If the cause of the drive failure of the DTa is not eliminated on the succeeding model DTb a similar failure occurrence with an exponential increase effective from 20 years of operation is expected.

Impact of Maintenance on Ageing Behaviour

The ageing curves shown in Figure 1 are based on failure data recorded for several years. In addition, the applied maintenance actions in the time under consideration have to be taken into account. The maintenance of circuit breakers in the period under observation are based on inspection measures (every second year) and on servicing measures (every eighth year) [1]. Disconnectors are inspected and maintained only by one measure every fourth year.
These measures can influence the ageing behaviour positive or negative as well. If it is possible to inspect and eliminate certain damages before they generate a major failure the measure is positive. But if consecutive failures will occur due to a preventive measure it has a negative impact on the equipment behaviour [1].

Progression of a minor to a Major failure: m2M-Model

As a result of a deferred service, the damage which is normally discovered is not remedied and can subsequently progress to a failure occurrence. The damage frequencies of maintenance measures can thus be used as an approach for future development of failures and thus negatively influence the ageing behaviour.
The estimated failure occurrence after the normal service interval is exceeded as a superposition of the previously calculated failure occurrence with the additional failures which occur as a result of damage. These additional failures are generated synthetically with the m2M-model. To describe the progression of a damage the following function is used (derivation see [3]).

$$s(t) = \frac{a}{b}(e^{bt} - 1) - a \cdot t$$

At point c of time a damage will be ddefinitely eveloped to a failure. Using this precondition of $s(c) = 1$ the outcome is

$$a = \frac{b}{e^{bc} - bc - 1}$$

and consequently the modelized fuction for the progression of a damage is

$$s(t) = \frac{e^{bt} - bt - 1}{e^{bc} - bc - 1}$$

with two model parameters:

- one time parameter c and
- one shape parameter b.

The shape parameter b describes the course of damage progression. Thus the probability of a failure occurrence can increase linear or exponential in the course of time or it can even be remained constant.
Figure 2 shows the model function for $b = -10$ and $c = 40$. In that case the probability of the transition from a damage into a

failure increases linearly over a time period of 40 years.

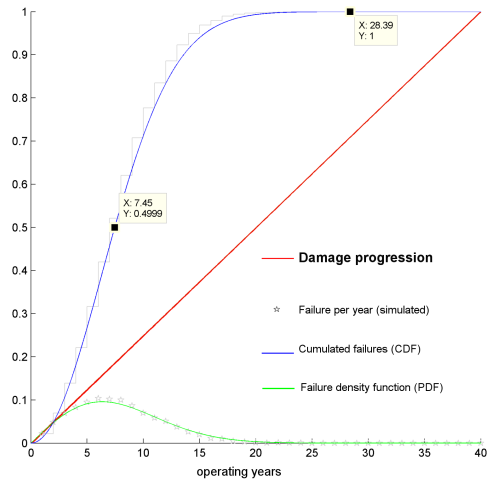


Fig. 2: Model of damage progression

Given that the model deals with a non-regenerative process, the density function gets its maximum already with 8 years. Based on expert knowledge the adequate choice of parameters can simulate the expected progression for different kinds of damages.

Ageing behaviour in case of a modified maintenance strategy

Here only the circuit breaker PH will be considered. Based on its servicing protocols 46 different kinds of damages can be classified. Eight different probabilities for a transition to a failure were connected to these damage classes. In addition, an inspection measure can detect 20 out of 46 damage classes.

As an example the Scenario I1W2 with a deferred inspection measure of one year and a deferred servicing measure of two years will be considered now. Additionally it is assumed that in case of a fault clearance all other damages which have not yet developed to a failure will also be cleared.

Figure 3 shows the resultant failure frequencies of the simulation in case of the deferred maintenance. Three failures occurred due to a delayed inspection measure within the simulation period of 40 years.

Without inspection measures the deferred servicing measure would lead to 116 failure occurrences in a population of 250 circuit breakers. But by the applied inspections 18 damages could be eliminated before leading to failure occurrences. On average the failure occurrences grow up by 50% to 3 failures per 100 circuit breaker years. For this reason the equipment quality is still on a high level.

Due to the reduction of the maintenance effort the costs for maintenance will minimize to approximately 30%. But the higher failure frequencies lead also to higher costs for fault clearance and, if the worst comes to the worst, even the service life will be decreased. In the last case the reduction of the maintenance costs will be compensated very quickly by the investments for new equipment.

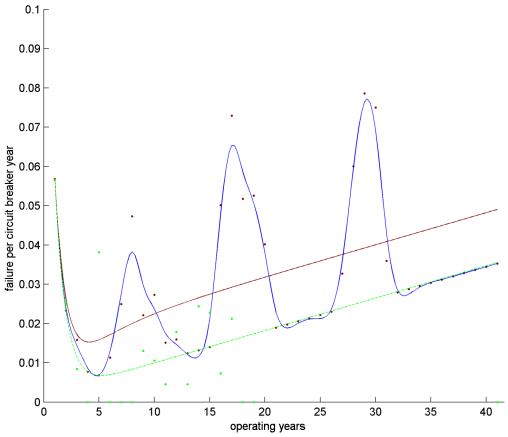


Fig. 3: Simulation results:
Deferred inspection 1 year, deferred servicing 2 years

Conclusion and Outlook

The m2M-model has been shown to be a useful tool, wherein well documented results of maintenance measures have to be required. In future calculations, this model will be studied in the context of a sensitivity analysis with a view to further applications.

With better knowledge of the parameters of the model, further scenarios could be simulated in the context of a changed maintenance strategy in order to be able to better map its influence on equipment behaviour. Then it would also be possible to assess changes in maintenance measures in terms of time and content and thus improve the efficiency of a measure.
Furthermore "artificial neural networks" will be applied to specify the current condition of an equipment. These networks will model the equipment condition, which is mapped on the information of maintenance protocols. Hence, "expert knowledge" can be stored by training these artificial neural networks based on available data.
After consideration of more technical aspects the focus in projected works moves more to economical aspects to be able to assess the whole process of asset optimization.

References

[1] S. Federlein, C. Hille, C. Neumann, J. Schneider, A. Schnettler: *Einflussfaktoren auf das Schadens- und Störungsverhalten von 123-kV-Leistungsschaltern*, ew Jg. 107 (2008) Heft 4, Frankfurt, Februar 2008

[2] C. Neumann, G. Balzer, S. Federlein, B. Rusek, J. Schneider, A. Schnettler, C. Schorn, U. Zickler: *Strategy for End of Life Assessment for High Voltage Circuit Breakers*, Cigre Session, A3-101, Paris, August 2008

[3] S. Federlein, C. Hille, A. Gaul, A. Schnettler: *Prognose des Störungsaufkommens eines 123 kV Leistungsschalters bei längeren Wartungszyklen*, Internationaler VDE-Kongress, ETG-P1, München, November 2008

Contact

Dipl.-Ing. Stefan Federlein
federlein@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94959

Dipl.-Ing. Christian Hille
hille@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94915

Untersuchung der Geräuschemission von Höchstspannungsfreileitungen

Höchstspannungsleitungen können bei bestimmten Wetterbedingungen verstärkte Geräuschemissionen verursachen, die insbesondere von Anwohnern in einer sonst ruhigen Wohnumgebung als störend empfunden werden. Vor allem bei Nebel oder Raureif können diese Emissionen über mehrere Stunden anhalten. In Zusammenarbeit mit einem Transportnetzbetreiber werden daher am IFHT Schalldruckpegelmessungen bei verschiedenen simulierten Wetterlagen durchgeführt. Die institutseigene Klimakammer ermöglicht hierbei realitätsnahe Untersuchungen an Freileitungsseilen unter definierten Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen.

Einleitung

Bereits im Jahr 1994 wurden von der Österreichischen Akademie der Wissenschaft Messungen der Koronaverluste bei verschiedenen Wetterlagen durchgeführt. Dabei wurden folgende Ergebnisse für die Koronaverluste eines 3-phasigen Systems festgehalten [1]:

voltage level	dry	fog
110 kV	0,001	NAN
220 kV	0,3	2,9
380 kV	0,6	4,3
voltage level	rain	hoar frost
110 kV	NAN	1
220 kV	8	30
380 kV	12	50

corona losses [kW/km]

Abb. 1: Koronaverluste bei Freileitungen

Es ist ersichtlich, das Fremdschichten auf der Leiterseiloberfläche, wie auch die Luftfeuchtigkeit im Allgemeinen einen Einfluss auf die Koronaverluste des Systems besitzen. Die tonale Emission von Freileitungen unter Regeneinfluss wurde bereits am Institut für elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnik (EEH) an der ETH Zürich im Rahmen des Projektes Conor untersucht [2], so dass sich die Nachforschungen am IFHT hauptsächlich auf Raureif fokussieren. Ein wichtiges Ziel ist die Eingrenzung von Parametern, die ursächlich für einen erhöhten Schalldruckpegel sind.
Für die institutseigene Klimakammer wurde dazu ein teilentladungsarmer Messaufbau entwickelt, welcher die Messung von Schalldruckpegeln bei verschiedenen Feldstärken und Raureifgraden ermöglicht.

Messaufbau

Zur Bestimmung der Randfeldstärke direkt an der Leiterseiloberfläche ist es unerlässlich ein definiertes elektrisches Feld zu generieren. Dazu war das Freileitungsseil in einer schalldurchlässigen Koronareuse in der Klimakammer installiert. Jegliche Kontaktierungspunkte waren mit proprietären Schirmelektroden gegen Feldstärkeüberhöhungen geschützt. Hierbei hat sich eine sehr leichte Konstruktion aus Polystyrolschaumstoff mit einer Graphitbeschichtung als Vorteilhaft herausgestellt. Abb. 2 zeigt ein Foto des Messaufbaus.

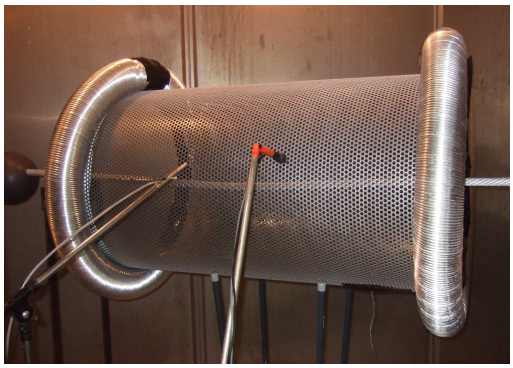


Abb. 2: Messaufbau in der Klimakammer

Die Schalldruckpegelmessungen wurden in Zusammenarbeit mit dem Institut für technische Akustik (ITA) der RWTH Aachen durchgeführt. Zur Reduzierung des Einflusses von stehenden Wellen geschahen alle Untersuchungen mit jeweils zwei beheizten Mikrofonen. Zudem sind die Parameter Leiterseilquerschnitt, -oberfläche ,-beschichtung sowie die Randfeldstärke variiert worden, um relevante Einflussfaktoren zu isolieren.

Ergebnisse

Ein wesentlicher Punkt in der Versuchskette war die Erzeugung von realitätsnahem Raureif. Dies wurde durch Resublimation von Wasserdampf auf einem Leiterseil erreicht, welches für 2 Stunden bei -20°C Lufttemperatur in der Klimakammer lagerte.

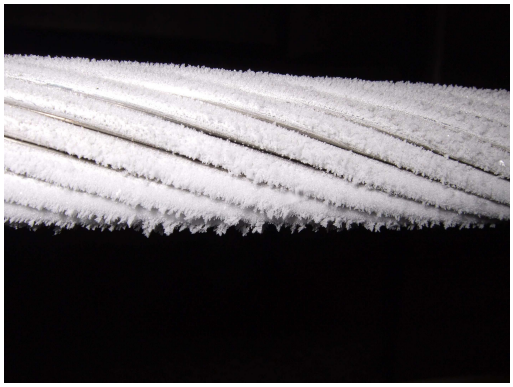


Abb. 3: Synthetischer Raureif auf Leiterseil

Es lässt sich ein signifikanter Einfluss des Raureifs auf die Geräuschemmission von Freileitungen festhalten. Besonders die Kristallstruktur des Eises scheint maßgeblich für die Schalldruckamplitude in bestimmten Frequenzbereichen zu sein. Gegenmaßnahmen, wie z.B. die Reduktion der Randfeldstärke durch Vergrößerung des Leiterquerschnitts, überkompensieren eine erwartete Emmissionsreduktion mit einer gestiegenen schallemmittierenden Oberfläche. Abb. 4 zeigt das Ergebnis einer Schalldruckpegelmessung an einem Leiterseil des Typs 380/50 nach einer A-Filterung zur Anpassung der Pegel an das menschliche Lautstärkeempfinden.

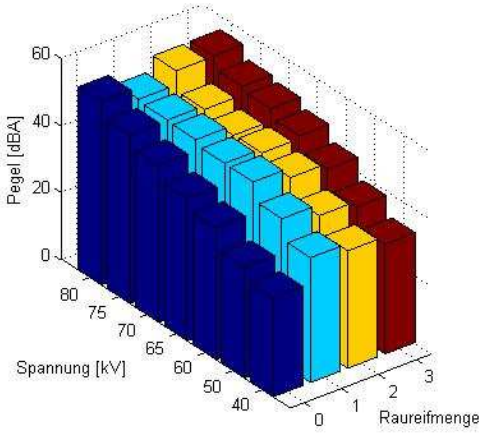


Abb. 4: A-bewertete Schalldruckpegel bei 380/50 Leiterseil

Die Achse mit der Bezeichnung „Raureifmenge“ gibt an, wie oft 1 Liter Wasser auf der Leiterseiloberfläche resublimiert wurde. Es ist ersichtlich, dass nicht die absolute Menge Eis relevant ist, sondern hier vielmehr die bereits genannte Kristallstruktur, als letztmöglicher Einflussparameter zum Tragen kommt.

Quellen

[1] Österreichische Akademie der Wissenschaften, Kommission für Reinhaltung der Luft, 2. Auflage, Wien, Juni 1994

[2] U. Straumann: *Berechung und Reduktion der tonalen Geräuschemmission von Hochspannungsfreileitungen*, Dissertation, Zürich, September 2007

Kontakt

Dipl.-Ing. Christian Hille
hille@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94915

Investigation of noise emissions of extra high-voltage overhead lines

Under specific weather condition overhead lines could cause intensified noise emissions. Residents in calm areas might feel disturbed by this. During rain or hoar frost these emissions could linger for several hours. Hence the IFHT - in cooperation with a network operator - runs measures of noise pressure-levels in an in-house climate chamber, which enables investigations at defined temperature and moisture conditions.

Introduction

Investigations of corona-losses were already performed in 1994 by the Austrian Academy of Sciences. The following results have been obtained for a 3-phase system [1]:

voltage level	dry	fog
110 kV	0,001	NAN
220 kV	0,3	2,9
380 kV	0,6	4,3
voltage level	rain	hoar frost
110 kV	NAN	1
220 kV	8	30
380 kV	12	50

corona losses [kW/km]

Fig. 1: Corona-losses of an overhead line

Obviously impurity layers on the line's surface, as well as air moisture in general influence corona-losses of these systems. Noise emissions of overhead lines at rainy conditions have already been analyzed at the power systems and high voltage laboraties (EEH) at Swiss federal institute of technology (ETH) within the research project CONOR. Therefore the investigations at IFHT will mainly focus on hoar frost. A main goal is the isolation of parameters, which are causative for intensified noise emissions.

For this, the development of a setup with very low partial discharge activity was necessary. It was assembled in our in-house climate chamber to ensure noise pressure-level measurements at different field strength and grades of hoar frost.

Measurement setup

Designation of field strength on the surface of an overhead line requires a well defined electrical field. Therefore the line was positioned in the middle of a lattice tube. Every edge, which was exaggerated to high electrical fields, was shielded by proper electrodes. A very light construction made of polystyrene foam with a graphite coating turned out to be favourably. Fig. 2 shows a picture of the measurement setup inside the climate chamber.

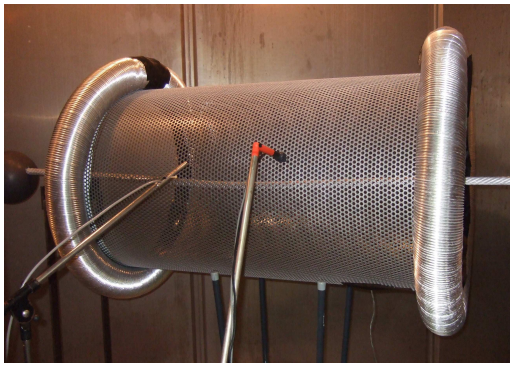


Fig. 2: Measurement setup inside the climate chamber

The noise pressure-level measurements were performed in cooperation with the institute for technical acoustics (ITA) of RWTH Aachen university. To reduce the influence of standing waves, the setup contained two microphones at different positions. The isolation of influencing parameters was done by variation of the overhead line's cross-section, its surface field-strength and its coating.

Results

A fundamental item in the chain of measurements was the creation of synthetical hoar frost as close to the natural one as possible. This was achieved by resublimation of water vapour on an overhead line cable, which was stored at -20°C.

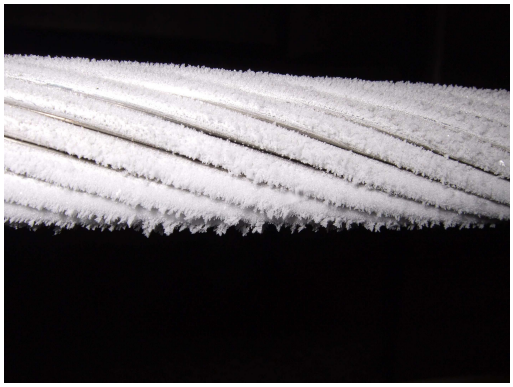


Fig. 3: Synthetical hoar frost on the surface of an overhead line cable

The hoar frost has a significant influence on the noise emission of overhead lines. Especially the crystalline structure of ice seems to be the dominant factor in some frequency ranges. Counteractive measures like increased cross sections to reduce the field strength were overcompensated by an enlarged noise emitting surface.
Fig. 4 4 illustrates the result of several measurements on an overhead line cable of type 380/50 Al/St. The noise pressure levels have been filtered by a filter of type A to simulate the human ear properties. The axes „amount of hoar frost“ designates how often 1 litre of boiling water was resublimated an the surface of the cable. It is apparent, that not the whole amount of water is relevant to the noise emissions, but the crystalline structure of the ice coating.

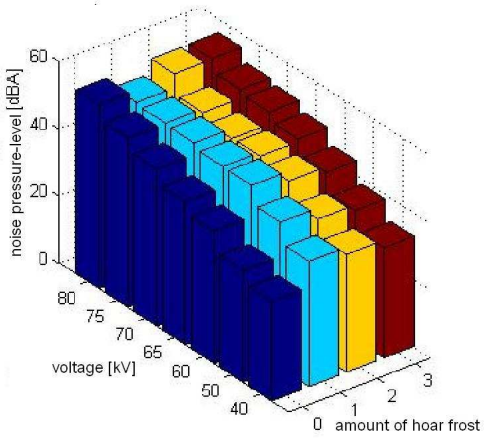


Fig. 4: Noise pressure-level meausurements on a 380/50 overhead line cable

References

[1] Österreichische Akademie der Wissenschaften, Kommission für Reinhaltung der Luft, 2. Auflage, Wien, Juni 1994

[2] U. Straumann: *Berechung und Reduktion der tonalen Geräuschemmission von Hochspannungsfreileitungen*, Ph. D. Thesis, Zürich, September 2007

Contact

Dipl.-Ing. Christian Hille
hille@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94915

Forschungsvorhaben „Reduzierung der Druckbeanspruchung elektrischer Anlagen im Störlichtbogenfall“

Obgleich Störlichtbögen äußert selten vorkommen, muss mit ihrem Auftreten im Hinblick auf Personensicherheit, die Gefährdung von Schaltanlagen und -gebäuden sowie die Versorgungssicherheit gerechnet werden. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens sollen Möglichkeiten zur Beherrschung der Druckbeanspruchung in elektrischen Anlagen im Störlichtbogenfall untersucht werden. Die Auswirkung von Maßnahmen zur Beherrschung der Druckbeanspruchung soll mit geeigneten Druckberechnungsverfahren ermittelt werden, die die Druckentwicklung in Anlagen und Gebäuden - in Abhängigkeit von konstruktiven Maßnahmen - in zuverlässiger und wirtschaftlicher Weise zu bestimmen gestatten. Dazu sind bei bekannten Berechnungsverfahren Erweiterungen und Verbesserungen erforderlich.

Einleitung und Ausgangssituation

Störlichtbögen in elektrischen Anlagen heizen das umgebende Isoliergas auf und bewirken dadurch einen Druckanstieg in ihrer Umgebung, der Anlagenpersonal, elektrische Betriebsmittel und Anlagengebäude sowie die Versorgungssicherheit gefährden kann. Zur Beherrschung der Druckbeanspruchung existieren zwei Vorgehensweisen, die Begrenzung der Lichtbogenenergie und die Reduzierung des Überdruckes durch konstruktive Maßnahmen.

Die Begrenzung der Lichtbogenenergie kann z. B. durch Lichtbogenwächter in Zusammenhang mit schnellen Kurzschließern oder durch konstruktiv bedingte verminderte Lichtbogenspannungen erfolgen. Diese Maßnahmen sollen hier nicht weiter betrachtet werden.

Die Reduzierung des Überdruckes durch konstruktive Maßnahmen ist beispielsweise möglich durch

- Druckentlastungsöffnungen
- Zwischenräumen zwischen fehlerbehaftetem Schottraum und Anlagenraum bzw. Kanäle ins Freie und
- Lichtbogenenergieabsorber.

Der Nachweis der Störlichtbogensicherheit von Anlagen erfolgt grundsätzlich auf zwei Wegen, durch Prüfungen im Hochleistungsprüffeld nach einschlägigen Normen wie z. B. VDE 0671 Teil 200 [1] und durch Druckberechnungen insbesondere in Fällen, in denen Prüfungen nicht möglich sind. Prüfungen sind aufwendig und daher kostspielig. Deshalb sind zuverlässige Druckberechnungsverfahren erforderlich, mit denen auch der Einfluss von konstruktiven Maßnahmen auf die Druckbelastung von Anlagen und Gebäuden untersucht werden kann. In vielen Anwendungsfällen hat sich herausgestellt, dass ein Bedarf an zwei Druckberechnungsverfahren gegeben ist, zum einen ein umfassendes, einfach handhabbares, schnelles und möglichst allgemein akzeptiertes Berechnungsverfahren zur Ermittlung der mittleren Druckentwicklung in elektrischen Anlagen im Fehlerfall (Referenzverfahren) und zum anderen ein ortsauflösendes, komplexeres Verfahren, mit dem insbesondere geometrisch komplexe Anordnungen dreidimensional untersucht werden können (CFD-Verfahren).

Problemfelder bei bekannten Druckberechnungsverfahren

Um den Einsatz von Druckberechnungsverfahren einem erweiterten Anwendungsbe-

reich zuzuführen, sind Erweiterungen der bekannten Verfahren notwendig. Besonders zu erwähnen sind die Modellierung von SF_6-Luft-Gemischen bei gasisolierten Anlagen und die Einbindung der Wirkung von Lichtbogenenergieabsorbern. Wegen der kleinmaschigen und mehrlagigen Anwendung von üblichen Absorbern ist deren direkte Modellierung i. A. aus Rechenzeitgründen nicht praktikabel. Daher ist es vorteilhaft, die Wirkung von Lichtbogenenergieabsorbern in Druckberechnungsverfahren zu berücksichtigen (Abb. 1).

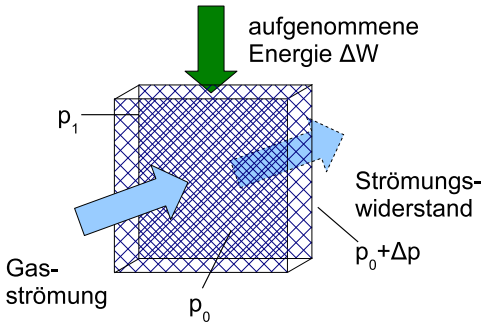


Abb. 1: Effekte von Absorbern

Zur Erhöhung der Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Berechnungsverfahren ist die Datenbasis bezüglich Werte der Lichtbogenspannung und des Anteils der Lichtbogenenergie, der in den Druckaufbau geht (k_p-Faktor), noch nicht ausreichend und daher zu verbessern.

Forschungsziele

Das übergeordnete Ziel des Vorhabens ist die Beherrschung der Druckbeanspruchung in Schaltanlagen und Anlagengebäuden im Störlichtbogenfall. Dieses ist mit mehreren Maßnahmen möglich. Die Herausforderung liegt dabei in der zuverlässigen Vorhersage der Druckentwicklung bei Anwendung dieser Maßnahmen. Die Vorhersage erfolgt über zwei bekannte Rechenverfahren, die verbessert werden müssen im Hinblick auf

- die Einbindung des Ausströmvorgangs von heißem SF_6 aus dem fehlerbehafteten Schottraum von SF_6-isolierten Schaltanlagen in den Schaltanlagenraum, der dort einen Druckanstieg bewirkt (SF_6-Luft-Gemische)
- die Einbindung der Wirkung von Lichtbogenenergieabsorbern (Wärmeenergieaufnahme, Strömungswiderstand)
- die Verbesserung der Datenbasis (Gasdaten, Lichtbogenspannung, k_p-Faktor) und des Referenzverfahrens (Verbesserung der Handhabung, Erweiterung der Anwendbarkeit) und
- die Evaluierung der Druckberechnungsverfahren sowie die Ermittlung des Gültigkeitsbereichs insbesondere des Referenzverfahrens durch Vergleich mit Messergebnissen

Das Forschungsvorhaben wird seit November 2008 von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) gefördert.

Quellen

[1] VDE 0671 Teil 200: *Hochspannungs-Schaltgeräte und Schaltanlagen Teil 200: Metallgekapselte Schaltanlagen für über 1 kV bis einschließlich 52 kV*, (IEC 62271-200:2003), Deutsche Fassung EN 62271-200:2004

Kontakt

M. Sc. Kittipong Anantavanich
anantavanich@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-90015

Research project „Reduction of pressure stress in electrical installations due to internal arcing“

Although fault arcs are rather rare, their occurrence cannot be excluded with regard to personnel safety, endangerment of switchgear and switchgear buildings as well as reliability of supply. Within the scope of this research project, the possibilities to control pressure stress in electrical installations during internal arcing shall be investigated. The effect of measures to control pressure stress shall be investigated by using appropriate pressure calculation methods. These methods have to reliably and economically determine the pressure development in switchgears and buildings depending on constructive measures. For this purpose, extensions and improvements of known calculation methods are required.

Introduction

Internal arcs in electrical installations heat up insulating gas and cause pressure rise in their surroundings, which can endanger personnel, electrical equipment and switchgear buildings as well as reliability of supply. For controlling pressure stress, there exist among others two approaches, the limitation of arc energy and by that pressure rise and the reduction of overpressure by constructive measures.

The limitation of arc energy can be achieved e.g. by using arc monitors in combination with fast short-circuiters or by constructive measures, which lead to reduced arc voltage. These measures will not be discussed here anymore.

The reduction of overpressure by means of constructive measures is possible for instance by using

- pressure relief openings
- intermediate rooms between the faulty switchgear compartment and the switchgear building or ducts, through which overpressure is released into the environment
- arc energy absorbers

In general, the proof of arc resistance of electrical installations is achieved by two ways, tests in high power laboratory according to relevant standards e. g. VDE 0671 Teil 200 [1] and pressure calculations, particularly in cases where tests are not possible. Tests in high power laboratories are time-consuming and by that expensive. Therefore, reliable pressure calculation methods are needed, with which the influence of constructive measures on the pressure stress of switchgears and buildings can be investigated properly.

From many applications, it has been found that there is a demand on two pressure calculation methods. The first one should be simple in handling, fast and will be used to determine mean value of pressure development in electrical installations during internal arcing (reference method). The second one should be able to deliver spatially resolved results, which is therefore more complex and applied to cases with geometrically complex arrangements (CFD method).

Problems of known pressure calculation methods

In order to enlarge the application area of pressure calculation methods, extensions of the known calculation methods are necessary. These extensions especially include the possibility to model SF_6-air mixtures in gas insulated electrical installations and the effect of arc energy absorbers on pressure.

Common absorbers most often consist of several layers of stretched metal. Due to the small mesh size and multilayer structure, which lead to extensive computing time, a direct modelling is not practical. Hence, it is advantageous to consider only the effects of arc absorbers in the calculation (Fig. 1).

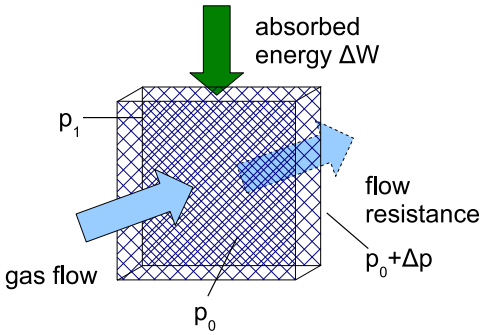


Fig. 1: Effects of arc energy absorbers on pressure

In addition, the database of arc voltage values and the portion of arc energy, which contributes to pressure rise (known as k_p factor), needs to be improved to increase accuracy and reliability of the pressure calculations.

Research objectives

The main objective of this project is to control pressure stress in switchgears and their buildings in the case of fault arcs. This can be realised by several measures. The challenge is a reliable prediction of the pressure rise in electrical installatons by applying these measures. The calculation methods mentioned above must therefore be improved with regard to

- the inclusion of flow processes of hot SF_6 from the faulty SF_6 insulated compartment into the switchgear room, which in turn leads to a pressure rise (SF_6-air mixtures).
- the inclusion of the effects of arc energy absorbers on pressure rise (heat energy absorption, flow resistance)
- the improvement of database (gas data, arc voltage, k_p factor) and the development of a reference method (improvement of handling, extension of the application area)
- the verification of the pressure calculation methods and the determination of the application area of the reference method

The research project is supported by the German Federation of Industrial Research Associations (AiF) since November 2008.

References

[1] VDE 0671 Teil 200: *Hochspannungs-Schaltgeräte und Schaltanlagen Teil 200: Metallgekapselte Wechselstrom-Schaltanlagen für Bemessungsspannungen über 1 kV bis einschließlich 52 kV*, (IEC 62271-200:2003), Deutsche Fassung EN 62271-200:2004

Contact

M. Sc. Kittipong Anantavanich
anantavanich@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-90015

Fremdschichtverhalten nanostrukturierter superhydrophober Isolierstoffoberflächen unter simultanen elektrischen und klimatischen Beanspruchungen

Dissertation: M.Sc. Junliang Wu

Tag der mündlichen Prüfung: 08. Dezember 2008

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Armin Schnettler
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Volker Hinrichsen

Polymere Isolierstoffe können eine deutlich ausgeprägte Superhydrophobieeigenschaft erlangen, wenn eine Oberflächenmodifikation mit Hilfe von speziellen Nanopartikeln durchgeführt wird. Somit ist eine Verbesserung des Fremdschichtverhaltens von elektrischen Betriebsmitteln zu erwarten. Hinsichtlich eines Einsatzes nanostrukturierter Oberflächen ist ihre Beständigkeit von elementarer Bedeutung. Die vorliegende Arbeit behandelt das Kurz- und Langzeitverhalten solcher modifizierter superhydrophober Isolierstoffoberflächen, die gleichzeitig elektrischen und klimatischen Belastungen ausgesetzt sind.

Einleitung

In einer Vielzahl von Betriebsmitteln der Energietechnik stellen die äußeren Grenzflächen stets kritische Schwachstellen bei Multi-Stress-Bedingungen dar. Zur Überwindung der Fremdschichtproblematik, die zu einer Verschlechterung der Zuverlässigkeit elektrischer Versorgung führen kann, kommen derzeit häufig polymere Werkstoffe, z.B. Silikonelastomere (SiE) zum Einsatz. Neben einer Gewichtsreduzierung sowie einer Erleichterung des Herstellungsprozesses zeichnet sich das Material durch eine intrinsische Hydrophobieeigenschaft der Oberflächen aus. Ein Maß für die Hydrophobie ist der Randwinkel, der für SiE bei 90° liegt. Somit können angelagerte Wassertropfen leicht von den Oberflächen abrollen. Einen vielversprechenden Ansatz zur weiteren Verbesserung stellt eine superhydrophobe Isolierstoffoberfläche dar. Durch eine noch geringere Oberflächenspannung, die auf der Oberflächenhydrophobierung und Nanostrukturierung beruht, wird ein selbst reinigender Effekt hervorgerufen. Infolgedessen wird die Entstehung von zusammenhängenden feuchten Fremdschichten entlang der Isolierstrecke erschwert. Darüber hinaus lassen sich fremdschichtinitiierte Schädigungsprozesse an den Isolierstoffoberflächen verhindern.

Neben den vielseitigen Gestaltungsmöglichkeiten und den kostengünstigen Herstellungsprozessen der Materialien wird hier besonders eine hinreichende Alterungsbeständigkeit der behandelten Isolierstoffoberflächen unter erschwerten Betriebsbedingungen verlangt. In der Hochspannungstechnik liegen bislang nur sehr wenige Erkenntnisse über einen Einsatz von superhydrophoben Oberflächen für Isoliersysteme vor. Daher ist eine orientierende Untersuchung der Superhydrophobieeigenschaft im Hinblick auf ihre Tauglichkeit unter Multi-Stress-Belastungen erforderlich.

Versuchsaufbauten

Die Bestimmung der Superhydrophobieeigenschaft der modifizierten Probenoberflächen erfolgt mit Hilfe von statischen Randwinkelmessungen.
Im Hinblick auf die vorgesehenen Anwendungsgebiete unterscheiden sich die Kombinationen der Stressfaktoren sowie die Auswahl der Multi-Stress-Prüfverfahren zwischen Innenraum- und Freiluftanwendungen. Dabei muss darauf geachtet werden, dass die realen Schädigungsmechanismen der Isolierstoffe bezüglich ihrer Hydrophobie im zeitraffenden Alterungstest nicht geändert werden. Im Vorfeld der Arbeit wurden drei Versuchsstände für einen Kaltnebeltest, einen modifizierten Rad-Tauchtest und ein zyklisches Betauungsverfahren aufgebaut, bei denen die feuchten Beläge unterschiedlich auf den Probenoberflächen ausgebildet werden. Anhand der elektrischen Kenngrößen, bzw. des Ableitstroms und der in der Fremdschicht umgesetzten Wirkleistung, wird der Oberflächenzustand von Modellisolatoren während der Prüfungen diagnostiziert und ausgewertet.

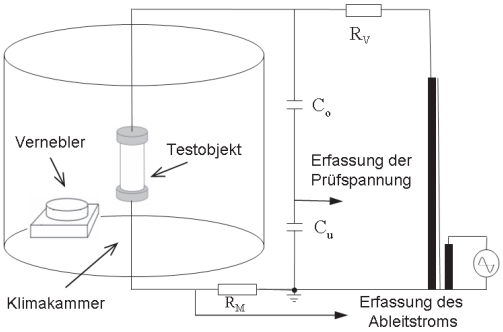


Abb. 1: Versuchsstand zum Kaltnebeltest

Mit dem Kaltnebelverfahren (Abb. 1) wird zunächst die Untersuchung zum Oberflächenverhalten unter erschwerten Innenraumbedingungen vorgenommen, wobei die Prüfkörper gleichzeitig elektrischer Beanspruchung (1,4 kV/cm) und zerstäubtem entionisiertem Wasser ausgesetzt sind. Als Ausfallkriterium wird dabei das permanente Erreichen einer spezifischen Fremdschichtwirkleistung von 0,5mW/cm^2 angesetzt, was sich als Übergang von der Alterungsfrühphase zur Alterungsspätphase erwiesen hat.
Im Vergleich dazu wird hinsichtlich der Freiluftanwendungen die Multi-Stress-Belastung im Rad-Tauchtest (Abb. 2) durch eine geringere Spannungsbeanspruchung (0,8 kV/cm) und aufgebrachte feuchte Beläge aus einer Salzlösung mit hoher Leitfähigkeit (800 μS/cm) realisiert. Als Diagnosegröße wird die maximale Amplitude des Ableitstroms gemessen. Die Alterungsspätphase gilt als begonnen, wenn ein Grenzwert von 1 mA dauerhaft überschritten wird.

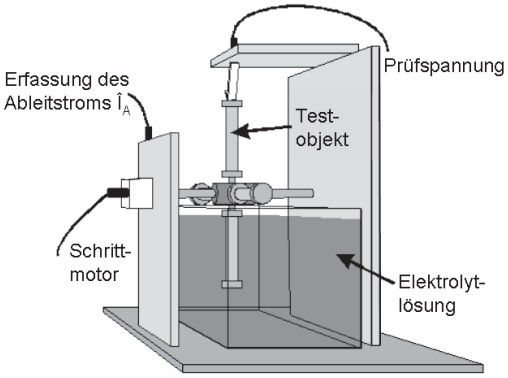


Abb. 2: Versuchsstand zum Rad-Tauchtest

Darüber hinaus werden die zu untersuchenden Prüfkörper im Betauungsverfahren (Abb. 3) einer kombinierten Beanspruchung aus elektrischem Feld (4 kV/cm) und periodischen Taubelägen ausgesetzt, in dem die in der Klimakammer vorgegebene Luftfeuchtigkeit (95%) bei einem regulierten Temperaturwechsel zwischen 10°C und 35°C an den Isolierstoffoberflächen kondensiert. Überschreitet die Ableitstromamplitude im Fall der Befeuchtung der Oberfläche einen Wert von 5 mA, gilt der Prüfling als ausgefallen. Gegenüber den Kaltnebel- und modifizierten Rad-Tauchtests stellt dieses Prüfverfahren eine Nachbildung der morgendlichen Betauung

dar.

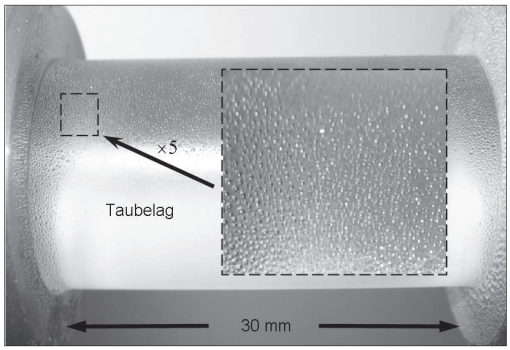


Abb. 3: Modellisolator beim Betauungstest

Ergebnisse

Ein Vergleich der zeitlichen Entwicklung des Ableitstroms und der Fremdschichtwirkleistung an den unbehandelten und oberflächenmodifizierten Prüfkörpern im Kaltnebeltest hat ergeben, dass die Zunahme der Ableitstromintensität bzw. der umgesetzten Leistung im oberflächennahen Bereich durch Verwendung von superhydrophoben Isolierstoffoberflächen verhindert werden kann. Dementsprechend wird auch der fremdschichtinitiierte Überschlag bei Anliegen eines elektrischen Wechselfelds verhindert. Im Weiteren zeigen die Ergebnisse aus den Langzeituntersuchungen, dass derartige Oberflächenmodifikationen das Alterungsverhalten von Prüfkörpern unter Multi-Stress-Bedingungen maßgeblich beeinflussen.

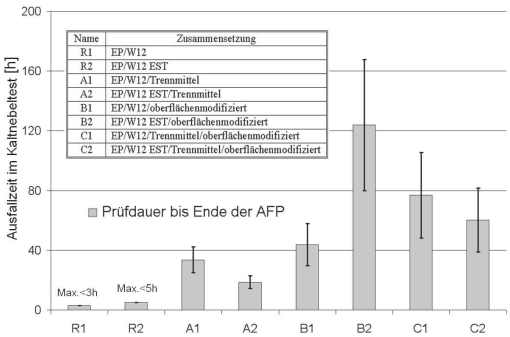


Abb. 4: Alterungsfrühphase im Kaltnebeltest

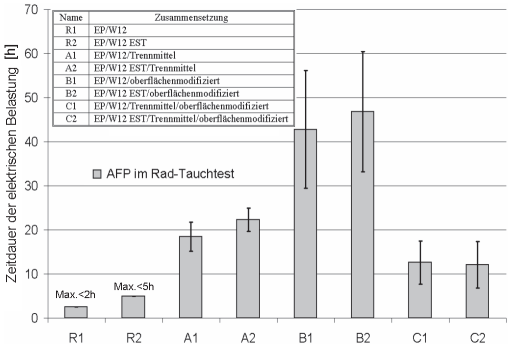


Abb. 5: Alterungsfrühphase im Rad-Tauchtest

Sowohl im Kaltnebeltest (Abb. 4) als auch im modifizierten Rad-Tauchtest (Abb. 5) weisen die untersuchten Isolierstoffoberflächen mit Modifikationsschichten eine verzögerte Ausfallzeit bzw. eine lange Lebensdauer der Materialien auf, welche im Wesentlichen auf die starke Unbenetzbarkeit der nanostrukturierten Probenoberflächen bei der Anlagerung von Wasser zurückzuführen ist. Auffällig ist dabei, dass das dynamische Verhalten der elektrischen Diagnosegrößen in Form von mehreren Impulsen auch durch das sofortige Entfernen bzw. das Abperlen der Wassertropfen begrenzt wird. Dies führt unmittelbar zu einer Verminderung der stromschwachen Teilentladungsaktivitäten, die in der Alterungsfrühphase einen Verlust der Hydrophobieeigenschaft von polymeren Isolierstoffen verursachen können. Der Oberflächenzustand tritt erst dann in die Alterungsspätphase ein, wenn die Hydrophobie bzw. Superhydrophobie der Prüfkörperoberflächen partiell verloren geht. Infolgedessen wird dann eine stromstarke Teilentladung, wie z.B. eine Trockenzonenentladung über der Isolierstrecke, ausgelöst. In diesem Fall lässt sich das Verhalten von unbehandelten und modifizierten Prüflingen im Hinblick auf den zur Bewertung herangezogenen elektrischen Kenngrößen nicht mehr voneinander unterscheiden.

Werden feuchte Fremdschichten auf die Prüflinge durch eine zyklische Betauung aufgebracht, so ergibt sich eine

sehr feine Tropfenstruktur an den belasteten Isolierstoffoberflächen. Im Unterschied zu Kaltnebeltests und modifizierten Rad-Tauchtests wird dabei im Betauungstest keine Verlängerung der Lebensdauer bei den nanostrukturierten superhydrophoben Modellprüfkörpern gegenüber den unbehandelten erzielt. Insbesondere führt eine gleichzeitige und gleichmäßige Anlagerung der kondensierten Luftfeuchtigkeit an den gesamten Probenoberflächen zu einer Unwirksamkeit der Hydrophobieeigenschaft bzw. Superhydrophobieeigenschaft. Deshalb wird diese Art der Oberflächenbefeuchtung als eine kritische Beanspruchung für die Isolierstoffoberflächen unter erschwerten Betriebsbedingungen identifiziert (Abb. 6). Im Anschluss daran wurden entsprechende Oberflächenanalysen an den untersuchten Prüfkörpern durchgeführt, wobei eine Verschlechterung der Oberflächenbeschaffenheit bzw. eine Erhöhung der Rauhigkeit bei den ausgefallenen Prüflingen beobachtet wird. Eine Schädigung der Modifikationsschicht ist vor allem anhand einer Zerstörung der Nanostruktur an der gealterten Probenoberfläche erkennbar.

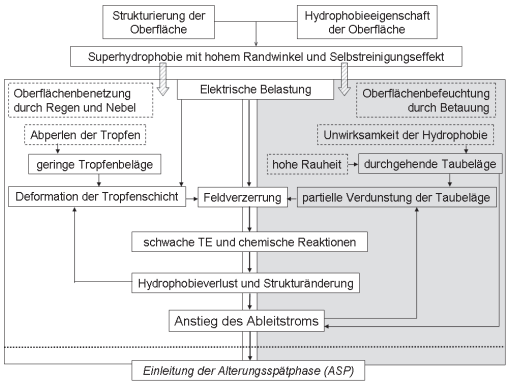


Abb. 6: Modell zur Alterung der superhydrophoben Schichten bei verschiedenen Multi-Stress-Belastungen

Zusammenfassung

Eine Verbesserung des Fremdschichtverhaltens durch Verwendung der mit speziellen Nanopartikeln hergestellten superhydrophoben Isolierstoffoberflächen ist stark von den in der Umgebung vorkommenden Befeuchtungsarten abhängig. Diese nachträglich durchgeführten Oberflächenmodifikationen erhöhen in der Regel die Hydrophobiebeständigkeit der polymeren Isoliermaterialien, indem die Intensität der Ableitströme und Fremdschichtwirkleistungen bei einer Oberflächenbenetzung limitiert wird. Allerdings können dabei die bedeutenden dynamischen Eigenschaften, wie Hydrophobiewiederkehr und Hydrophobietransfer, nicht nachgewiesen werden. Im Hinblick auf die Langzeitstabilität der Modifikationsschicht an den verwendeten Epoxidharz-Formstoffen eignen sich derartige modifizierte superhydrophobe Isolierstoffoberflächen in der Praxis nicht für einen Einsatz in Betriebsmitteln für Freiluftanwendungen.

Das Ergebnis aus der Kaltnebelprüfung zeigt hingegen, dass ein besseres Fremdschichtverhalten bzw. Alterungsverhalten unter erschwerten Innenraumbedingungen durch derartige Vorbehandlungen erreicht werden kann. Jedoch zeigt der zyklische Betauungstest, dass die nanostrukturierten superhydrophoben Isolierstoffoberflächen eine kurze Lebenserwartung mit hoher Ausfallrate im Fall einer Betauung haben. Somit weist das Versuchsergebnis wiederum auf einen Zusammenhang zwischen realen Befeuchtungsarten und der Wirksamkeit der Oberflächenmodifikation hin. Mit Hilfe einer Oberflächenanalyse kann der Nachweis einer Strukturänderung bzw. Oberflächenbeschaffenheit erbracht werden.

Kontakt

M.Sc. Junliang Wu
wu@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94924

Ökologisch-technische Auswirkungen dezentraler Energieversorgungsszenarien mit Blockheizkraftwerken in elektrischen Verteilungsnetzen

Dissertation: Dipl.-Ing. Thomas Smolka

Tag der mündlichen Prüfung: 09. Dezember 2008

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Armin Schnettler
Univ.-Prof. Dr. Klaus Fröhlich
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans-Jürgen Haubrich

Der Einsatz dezentraler Energiewandlungsanlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) in Verteilungsnetzen rückt wegen ihrer Effizienz- und Emissionseinsparpotenziale stärker in den Vordergrund. Im Rahmen der Arbeit wird ein Verfahren zur ökologisch-technischen Bewertung verschiedener Szenarien dezentraler Strom- und Wärmeversorgungsvarianten mit KWK-Anlagen in lokalen Versorgungsgebieten entwickelt. Im Rahmen einer Szenarioanalyse wird das Verfahren an drei repräsentativen Versorgungsgebieten angewendet und die Ergebnisse ausgewertet.

Einleitung

Die Energieversorgung in Deutschland erfährt insbesondere bedingt durch geänderte politische Rahmenbedingungen wie der Liberalisierung der Energiemärkte, der massiven Förderung erneuerbarer Energien (Wind, Photovoltaik, Biomasse), einer stärkeren Dezentralisierung und dem geplanten Ausstieg aus der Kernenergie tief greifende Veränderungen. Es bestehen allerdings noch erhebliche Unsicherheiten, unter welchen Rahmenbedingungen bzw. Einflussfaktoren eine stärker dezentrale Energieversorgung mit KWK-Anlagen im Vergleich zu einer eher zentralen Energieversorgung ökologische Vorteile aufweist und welche technischen Auswirkungen auf Netzplanung und -betrieb eine großflächige Integration von dezentralen Erzeugern mit sich bringt. Zur Ermittlung des zukünftig realisierbaren Potentials von KWK-Anlagen in lokalen Versorgungsgebieten muss zunächst eine Analyse der prognostizierten Strom- und Wärmebedarfentwicklung erfolgen.

Strom- und Wärmebedarfsentwicklung in Deutschland

Nach aktuellen Studien zur Stromverbrauchsentwicklung in Deutschland bis 2030 ist ein nahezu konstant bleibender Gesamtstromverbrauch über alle Sektoren zu erwarten, wie in Abbildung 1 dargestellt.
In den Sektoren private Haushalte (PHH) sowie Gewerbe und Dienstleistungen (GHD) ist dabei davon auszugehen, das ein Anstieg des Stromverbrauchs infolge einer vermehrten Anzahl und Nutzung elektrischer Geräte im Endkundenbereich durch Einsparmaßnahmen und Effizienzsteigerungen bei der Leistungselektronik überkompensiert wird.

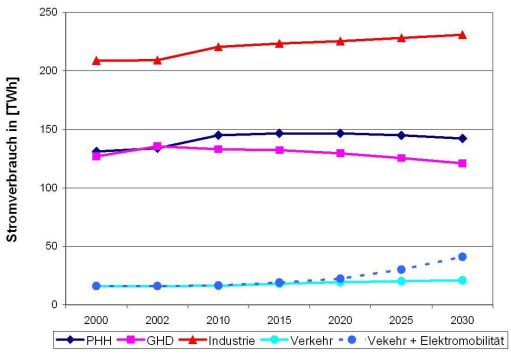


Abb. 1: Prognostizierte Entwicklung des Stromverbrauchs nach Sektoren

Im Industrie- und Verkehrssektor wird ein Anstieg der Industrieproduktion zwischen 2002 und 2030 um 50% bzw. durchschnittlich 1,5%/a sowie eine stark ansteigende Netzintegration von Elektrofahrzeugen (bis auf ca. 8-13 Mio. in 2030) erwartet, die zu leicht ansteigendem Stromverbrauch in diesen Sektoren führen. Die Trendentwicklung im Wärmeverbrauch ist in Abbildung 2 dargestellt.

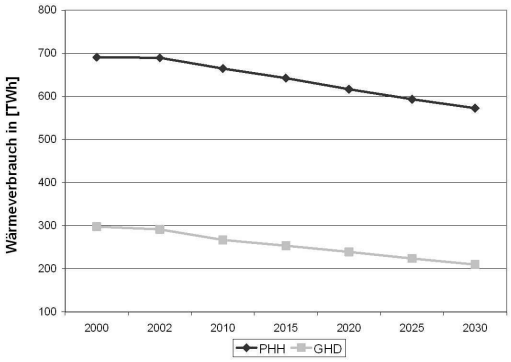


Abb. 2: Entwicklung des Endenergieverbrauchs an Wärme

Der Gesamtwärmebedarf im Sektor PHH reduziert sich deutlich um ca. 18% bis 2030 bezogen auf 2000, bedingt durch eine erhöhte Sanierungseffizienz und Sanierungshäufigkeit des Gebäudebestandes und Neubauten auf Basis aktueller Wärmeschutz- bzw. Energieeinsparungsverordnungen (EnEV). Im GHD Sektor ist infolge einer Heizwärmereduzierung im Gebäudebereich eine Reduktion des sektoralen Gesamtwärmebedarfs um 30% in 2030 gegenüber 2000 zu erwarten.

Systemmodell zur Strom- und Wärmeversorgung in lokalen Versorgungsgebieten

Der grundsätzliche Aufbau des in der Arbeit entwickelten technischen Systemmodells zur Simulation dezentraler Versorgungsvarianten mit KWK-Anlagen ist in Abbildung 3 dargestellt.

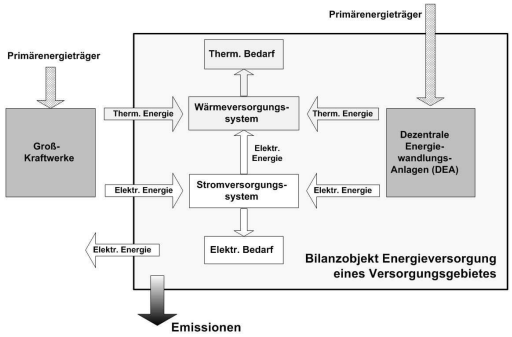


Abb. 3: Prinzipielle Kopplung der Teilsysteme im Modellsystem

Es stellt die Versorgung von Endkunden mit elektrischer und thermischer Energie in einem Verteilungsnetz dar. Wesentliche Bestandteile sind die über die elektrische Energie gekoppelten Teilsysteme zur Strom- und Wärmeversorgung. Das Bilanzobjekt wird dabei als knoten-basiertes Energieversorgungsnetz aufgefasst, in dem an jedem Knoten ein verbraucherabhängiger Strom- und Wärmebedarf vorliegt. Das Modellsystem wird dabei abgebildet durch folgende exogene Einflussfaktoren, mit denen die im Modellsystem auftretenden Energie-, Stoff- und Emissionsflüsse abgebildet werden:

- Strom- und Wärmebedarf im Versorgungsgebiet (Wärme zu Strom Verhältnis, engl. Heat to Power Ratio, HPR-Faktor)
- Strommix aus dem Verbundsystem

- Wärmemix der Beheizungsstruktur im Versorgungsgebiet
- Brennstoffmix im Versorgungsgebiet
- Auslegung der KWK Anlagen

Folgende Varianten zur Auslegung der KWK Anlagen werden dabei betrachtet:

- Variante dezentral, in dem jedes Gebäude des Versorgungsgebietes einen Versorgungsknoten darstellt und von einer KWK-Anlage versorgt wird.
- Variante Nahwärme, in dem der untergelagerte Versorgungsbereich jedes Mittelspannungstransformators durch eine KWK-Anlage in Verbindung mit einem dezentralen Wärmeverteilungsnetz versorgt wird.
- Variante Fernwärme, das in Abhängigkeit von der Netzgröße und Verbrauchsdichte auf einigen wenigen, zentralen KWK Anlagen in Verbindung mit einem Wärmeverteilungsnetz basiert.

Die Einflussfaktoren werden gemäß der Vorgehensweise bei einer Szenarioanalyse im Modellsystem genutzt, indem eine Kombination extremer Ausprägungen und wahrscheinlicher Trendannahmen zur Aufspannung eines Zustandsraums verwendet wird. Zusammenfassend ergibt sich ein Gesamtanalyseraster unter Berücksichtigung der jeweiligen Extremwerte der Einflussfaktoren.

Beispielhafte Ergebnisse für ein ländliches Versorgungsgebiet

Das ländliche Versorgungsgebiet besitzt mit einem Anteil an EFH und RDH von ca. 74% im Vergleich zu den anderen Versorgungsgebieten eine deutlich geringere Bebauungsdichte mit einem Wärme zu Strom Verhältnis (HPR Faktor) von 4,1:1 im Jahr 2010.

Eine Übersicht der möglichen absoluten CO_2-Reduktionspotenziale für ausgewählte Szenarien ist Abbildung 4 zu entnehmen. Die „Worst Case“ Variante stellt dabei die Szenariovariante des aktuellen Energieverbrauchs ohne KWK Anlagen dar. Eine Reduktion des Wärmebedarfs auf einen HPR Faktor von 3:1 bzw. 2:1 bei angenommener Referenzentwicklung der übrigen Einflussparameter ermöglicht im Versorgungsgebiet eine Senkung der absoluten CO_2-Emissionen um ca. 28 bzw. 43% bezogen auf die „Worst Case“ Variante. Durch eine alleinige Änderung des Strommixes auf S1 und des Wärmemixes auf W1 ergeben sich mögliche Reduktionen der CO_2-Emissionen gegenüber der Referenzentwicklung von ca. 11% bzw. 32%. Die Variation des Wärmemixes bei HPR 3:1, B, S auf W1 ermöglicht sogar deutlich geringere CO_2-Emissionen, als eine Gesamtreduktion des Wärmeverbrauchs im ländlichen Versorgungsgebiet in der Referenzentwicklung für HPR 2:1, B, S, W.

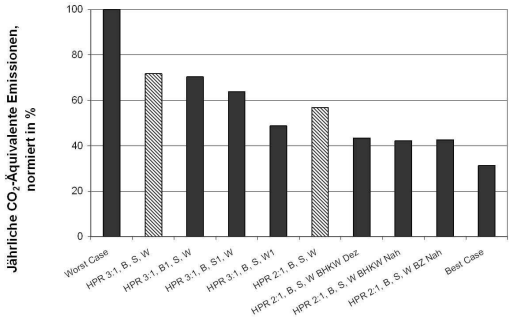


Abb. 4: Absolute Emissionseinsparungen in CO2-Äquiv. im Versorgungsgebiet

Hier zeigt sich die Relevanz des Einflussparameters Wärmemix, der die Struktur der Wärmeerzeugungsanlagen im betrachteten Versorgungsgebiet widerspiegelt. In den Gebäudetypen EFH und RDH, die mit ca. 74% den höchsten Anteil an der Baustruktur im Versorgungsgebiet C besitzen, wird im Referenzszenario ohne de-

zentrale KWK Anlagen für einen Wärmemix W1 eine vollständige Wärmeversorgung über Wärmepumpen angenommen.
Die „Best Case“ Variante mit den geringsten absoluten Emissionen stellt die Szenariovariante ohne KWK Anlagen mit den Einflussfaktoren HPR 2:1, B1, S1, W1 dar. Das zeigen auch die Ergebnisse der spezifischen CO_2-Emissionen des lokalen Strom- und Wärmemixes in Abbildung 5 (siehe P1). Der hohe Anteil von Wärmepumpen in den Szenarien ohne KWK Anlagen führt auch für die Strommixe S und S2 zu deutlich reduzierten spezifischen Wärmemixemissionen (siehe Flächen F1 und F2), die für die Varianten F1 sogar geringe spezifische Wärmeemissionen aufweisen, als die Szenarien der BZ und BHKW Nahwärmevarianten bei einem Wärmemix W und W2.

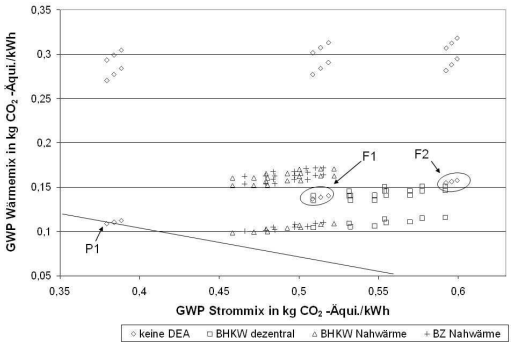


Abb. 5: Spezifische Emissionen des ländlichen Versorgungsgebietes bei HPR 3

Eine hohe Durchdringung mit Wärmepumpen in den Szenariovarianten ohne dezentrale KWK Anlagen bei einem Wärmemix W1 stellt somit eine Alternative zum Einsatz von KWK Anlagen in Versorgungsgebieten mit niedriger Bebauungsdichte dar. So ist eine deutliche Absenkung der spezifischen Wärmemixemissionen zu erreichen, die alternativ in den Versorgungsgebieten A und B mit hoher Bebauungsdichte nur durch den Einsatz von KWK Anlagen zu erzielen sind.

Zusammenfassung

Mit der vorliegenden Arbeit wird der bisherige Kenntnisstand über die ökologischen und technischen Auswirkungen des Zubaus von dezentralen Energiewandlungsanlagen auf KWK Basis deutlich erweitert. Untersucht werden insbesondere verschiedene Szenarien dezentraler Zubauvarianten (BHKW Dezentral, Nahwärme und Fernwärme) im Vergleich zu einer Stromversorgung aus Großkraftwerken mit dezentralen Wärmeerzeugungssystemen.
Mit Hilfe des entwickelten Verfahrens ist es möglich, eine Vielzahl verschiedener dezentraler Energieversorgungsszenarien untereinander und mit einer Referenzentwicklung der Energieversorgung ohne Einsatz dezentraler KWK-Technologie unter ökologischen und technischen Rahmenbedingungen zu bewerten.
Die beispielhaften Ergebnisse der Szenarienrechnung eines ländlichen Versorgungsgebietes zeigen, dass die vermehrte Integration von modernen Wärmepumpensystemen und ggf. Elektrodirektheizungen in Versorgungsgebieten niedriger Bebauungsdichte dem Neubau von dezentralen KWK-Anlagen vorzuziehen ist, um einen lokalen Strom- und Wärmemix mit möglichst geringen Emissionsraten zu erhalten.

Kontakt

Dipl.-Ing. Thomas Smolka
smolka@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-92135

Monitoring von dezentralen Erzeugungsanlagen

Das EU-Projekt S-TEN (Intelligent Self-describing Technical and Environmental Networks, FP6-027683, www. s-ten.eu) ist ein Forschungsprojekt für den Web basierten Betrieb und Unterhalt von physikalischen Netzwerken unter der Koordination der FGH e.V.. Das IFHT hat in dem Projekt inhaltliche und administrative Aufgaben übernommen. S-TEN wurde von der Europäischen Gemeinschaft, Bereich Information Society Technologies (IST), im sechsten Forschungsrahmenprogramm finanziell von April 2006 bis November 2008 unterstützt.

Einleitung

Das EU-Projekt S-TEN verfolgt das Ziel, technische Applikationen wie einzelne Sensoren oder komplexe Maschinen in einem *Internet der Dinge* über semantische Webtechnologien selbsbeschreibend abzubilden und damit Entscheidungsträger in einem sich ändernden Netzwerk von Messstellen zu unterstützen. Im Rahmen des Projekts wurde hierzu u.a. eine Prototyp-Applikation zur Überwachung von verteilten Ressourcen in elektrischen Verteilungsnetzen erstellt. Die Überwachung umfasst ein kontinuierliches Monitoring von dezentralen Erzeugungsanlagen (DEAs) sowie die Ausgabe von Warnungen und Alarmmeldungen bei Überschreitung vorgegebener Grenzwerte.
Mit der im S-TEN Projekt entwickelten Technologie steht eine informations- und kommunikationstechnische Infrastruktur bereit, um die erwartete signifikante Steigerung des Anteils dezentraler Erzeuger mit unterschiedlichen Charakteristiken und deren Integration insb. in das Mittel- und Niederspannungsnetz zu unterstützen und den damit verbundenen neuen Anforderungen an den Netzbetrieb mit einem umfassenden Managementsystem zu begegnen.

Funktionalitäten des Prototyps

Die Prototyp-Applikation *Überwachung verteilter Energieerzeuger in elektrischen Netzen* umfasst das Monitoring für PV Anlagen, Windturbinen und Blockheizkraftwerken, und stellt damit die Grundlage für das Management von Verteilnetzen bereit. Das Monitoring beinhaltet sowohl die Überwachung der Messwerte als auch der eingetretenen Ereignisse (Warnungen und Alarme). Dem Anwender steht folgende Funktionalität zur Verfügung:

- Anfrage und Übersicht der in der S-TEN Registry registrierten DEAs
- Listen aller verfügbaren Web Services der registrierten DEAs
- Login auf der interessierenden Ressource
- Browsen von Messdaten sowie von Ereignissen
- Monitoring von Messdaten
- Registrierung z.B. für Benachrichtigungen bei definierten Ereignissen
- Anzeige der Web Service Anfragen und Antworten sowie Darstellung der für die Applikation entwickelten Ontologien, der S-TEN Ontologie sowie der Web Services
- Schnittstellen zu weiteren S-TEN Prototyp Applikationen

Die Prototyp-Applikation ist als Client-Software unter www.s-ten.eu verfügbar.

Implementierung

Es wurde ein hierarchischer Ansatz verwendet, bei dem jede DEA mit einem S-TEN Server verbunden ist. Die Architektur ist damit offen für zukünftige Erweiterungen durch zusätzliche DEAs, die sich in der Registry anmelden. Die Daten der Windturbinen und der Blockheizkraftwerke werden derzeit simuliert während die Daten der PV-Anlage bereits von einem realen PV-Modul bereit gestellt werden, an dem Strom- und Spannungswerte gemessen werden. Das PV-Modul ist an die im S-TEN Projekt entwickelte Hardware-Device angeschlossen, welche über eine Schnittstelle die gemessenen Strom- und Spannungsmesswerte einliest, speichert und für die S-TEN Webservices semantisch annotiert bereitstellt.

Der S-TEN Server registriert seine Ressource sobald sie in Betrieb ist. Dazu schickt er die Selbstbeschreibungsdatei der DEA an die S-TEN Registry. Die Selbstbeschreibungsdatei enthält u.a. die URL der DEA sowie die URL der von ihr angebotenen Web Services. Historische Sensordaten der DEA werden in einer MySQL Datenbank auf dem zugehörien S-TEN Server gespeichert werden und können hier über die Browse-Funktionalität abgerufen werden.

Abb. 1: Client-Oberfläche mit Sicht auf Windenergieanlage

Nach dem Login auf dem S-TEN Server der Ressource über die JAVA-basierte Client-Software sieht der Anwender zunächst einen Strukturbaum der DEA, der anzeigt, welche Messgrößen (z.B. Windgeschwindigkeit) angeboten werden, von welchem Messgerät diese Größen gemessen werden (z.B. Anemometer) und welche Ereignisse für die gemessenen Größen definiert sind (z.B. Warnung). Die (historischen) Daten und Ereignisse der Ressource können nun gebrowst werden und der Anwender kann sich für Ereignisse registrieren. Weiterhin können Messdaten von dem Zeitpunkt, zu dem das Monitoring gestartet wird, kontinuierlich überwacht werden.

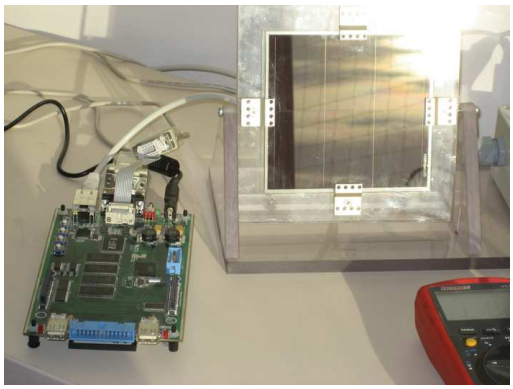


Abb. 2: Device PV-Module

Ausblick

Das Web eröffnet die Möglichkeit, Daten verteilter Netzwerkressourcen unabhängig von ihrem Ort und zu niedrigen Kosten verfügbar zu machen. In der Semantik liegt der Schlüssel zu einer intelligenteren Form der Zusammenarbeit und Prozesskontrolle. Sind die ausgetauschten Informationen semantisch beschrieben, können darauf Regeln angewendet werden, um zukünftig eine selbstorganisierte Automation zu ermöglichen. In der Elektrizitätswirtschaft haben Sicherheitsbedenken und Echtzeitanforderungen den Einsatz von Web Technologien zum Netzmanagement bislang verzögert. Da bei den Netzen der Zukunft mit hohem Anteil dezentraler Energieerzeugung ein intelligentes Netzmanagement vonnöten ist, wird erwartet, dass der S-TEN Ansatz maßgeblichen Einfluss darauf haben wird. Der Einsatz von S-TEN Technologie in einem Versorgungsnetz mit einer Anzahl stetig steigender dezentraler Erzeugungseinheiten wie privaten und kommerziellen Klein(st)erzeugern auf der einen Seite und steuerbarer Lasten auf der anderen Seite könnte einen entscheidenden und kostengünstigen Beitrag zu einem effizienten Netzmanagement leisten. Auch im Hinblick auf Vehicle-to-Grid Anwendungen, bietet die S-TEN Technologie einen innovativen Ansatz zum Management zeitlich und örtlich flexibler Netzwerktopologien.

Weitere Informationen

S-TEN, FP6-IST-2005-027683
Website: www.s-ten.eu

Kontakt

Dipl.-Phys. Bernhard Schowe-v.d. Brelie
schowe@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-949 00

Projekthaus Humtec

HumTec ist ein interdisziplinäres "Projekt-Haus" der RWTH Aachen gegründet als Teil der Exzellenz-Initiative des Bundes und der Länder. HumTec hat die Förderung der interdisziplinären Forschung zwischen Human-/Sozial und Ingenieur-/ und Naturwissenschaften zum Ziel. Das IFHT stellt für den Forschungsbereich EET zusammen mit dem AVT die ingenieurwissenschaftlichen Kompetenz. Aufgabenbereich der IFHT-Ingenieure ist hierbei die Modellbildung globaler Systeme und die Bewertung von Technologien und deren Substitutionspotentiale.

Einleitung

Zu Beginn des 21. Jahrhunderts befindet sich die Energieversorgung im Umbruch. Bestimmten in den vergangenen Jahrzehnten zumeist technische und ökonomische Gegebenheiten die Wahl der Erzeugungsart, so ist zwischenzeitlich das Bedürfnis nach nachhaltiger und damit gerechter Energiebereitstellung in der modernen Gesellschaft mindestens gleichwertig. Dies führte zunächst zu einer Neubewertung der mit der Kernenergie verbundenen Risiken und im Weiteren zu einer signifikanten Förderung solcher Energieformen, die mit geringeren Treibhausgasemissionen verbunden sind und die Abhängigkeit von Rohstoffimporten lösen helfen. Die Ausgestaltung solcher Förderungen stellt sich dabei als politischer Entscheidungsfindungsprozess dar, der nicht selten von Partikulärinteressen dominiert wird. Hier setzt die Arbeit der HumTec Forschungsgruppe „EET - Ethics for Energy Technologies" an. Als interdisziplinäres Team aus (Wirtschafts-) Ingenieuren, Physikern und Philosophen besteht das gemeinsame Ziel in der Bewertung verschiedener Energieversorgungsszenarien und damit der Bereitstellung relevanter Einsichten für Entscheidungsträger. Dabei unterscheidet sich das Projekt durch seine genuin normative Herangehensweise signifikant von anderen. Die ausgesprochenen Handlungsempfehlungen zielen daher nicht primär auf eine Befriedigung zeit- und ortsabhängiger Präferenzen ab, sondern vielmehr auf eine Chancengleichheit gewährleistende Norm, die hilft, Energieversorgung international und intergenerationell gerecht zu gestalten.
Die einzelnen Arbeitsfelder des Projekts sind im Folgenden dargestellt:

Arbeitsfeld 1 - Faktenbasis

Zielsetzung des ersten Arbeitsfeldes ist, neben der Definition und Schaffung einer gemeinsamen Datenbasis, die Evaluation und Selektion bestehender Modellierungsansätze.

Arbeitsfeld 2 - Modellierung

Das zweite Arbeitspaket hat die Modellbildung und Implementation zum Gegenstand. Im Besonderen sollen die Auswirkungen technologischer Entwicklungen dediziert modelliert werden. Spieltheoretische Ansätze sollen für die Abbildung unscharfer Prozesse, wie Gesellschaft, politische Entscheidungsprozesse etc. Einsatz finden.
Die Entwcklung eines sogenannten Globalmodells macht im speziellen die quantitative Modellierung von Versorgungs- und Bedarfsstrukturen sowie systemtheoretische Analysen potentieller Gleichgewichtszustände der betrachteten Systeme erforderlich.

Dieses Arbeitsfeld wird von den Ingenieuren des IFHT und des AVT geleitet.

Arbeitsfeld 3 - Zukünftige Energiesysteme und Technologien

Die Abschätzung zentraler Parameter auf Grundlage ausgewählter Zukunftszenarien für Technologien und Energieversorgung und die Belastbarkeit der räumlich aufgelösten Folgenabschätzung u.a. für Ökologie und Ökonomie unter Unsicherheit sind zentrales Thema des dritten Arbeitspakets. Wiederum stellt die ethische Bewertung zukünftiger Energiesysteme unter besonderer Berücksichtigung des Zugangs zur Energie und Gemeingütern -die Behandlung von erkenntnistheoretischer Unsicherheit eingeschlossen- das mittelfristige Ziel dieses Arbeitspaketes dar.

Arbeitsfeld 4 - Gerechtigkeitsfragen

Identifikation und numerische Repräsentation von Normen intergenerationeller und internationaler Gerechtigkeit bilden den Schwerpunkt des stark philosphisch geprägten vierten Arbeitspakets. Die Ableitung einer anwendbaren Beurteilungsgrundlage für die Regulation der lokalen und globalen Energiepolitik ist Ziel.

Arbeitsfeld 5 - Modellverifikation

Die Modellverifikation anhand regionaler und historischer Daten wird im fünften Arbeitspaket angestrebt. Neben der qualitativen Analyse und der Normativen Bewertung der ausgewählten Szenarien wird aus Sicht der IFHT-Ingenieure ein besonderes Augenmerk auf die Identifikation und analytische Bestimmung einer zeitabhängigen sozialen Präferenzordnung gelegt werden.

Kontakt

Dipl.-Ing. Thomas Dederichs
dederichs@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94934

Dipl.-Ing. Martin Scheufen
scheufen@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94941

Lehre am IFHT

Teaching at IFHT

Lehre am IFHT

Hochspannungstechnik I (SS)

Dozent: Prof. Dr.-Ing. A. Schnettler
V2, Ü1, ab 6. Semester

Inhalt

- Überspannungen in Hochspannungsnetzen: innere und äussere Überspannungen, Wanderwellen, Überspannungsschutz
- Durchschlagsvorgänge: Statistik, Gasdurchlag, Feststoffdurchschlag, Flüssigkeitsdurchschlag, Vakuumdurchschlag, Lichtbogen, Fremdschichtüberschlag
- Hochspannungs-Isolierstoffe: Kenngrössen, anorganische Isolierstoffe, organische Isolierstoffe
- Technische Exkursion

High Voltage Engineering I (Summer Term)

Lecturer: Prof. Dr.-Ing. A. Schnettler
L2, E1, from 6th semester, International Master Program: 2nd semester

Content

- Overvoltages in power systems: Travelling waves, overvoltage protection
- Breakdown-phenomena: Statistics, breakdown in gases, solids and liquids, vacuum breakdown, arcing, pollution flashover
- Insulation systems and dielectrics
- Technical excursion

Hochspannungstechnik II (WS)

Dozent: Prof. Dr.-Ing. A. Schnettler
V2, Ü1, ab 7. Semester

Inhalt

- Erzeugung und Messung hoher Gleich-, Wechsel- und Stoßspannungen
- Hochspannungsteiler, Shunts
- Hochspannungsgeräte: Konstruktionsmerkmale, Kondensator, Durchführungen und Ausleitungen, Transformator, Schalter, Wandler
- Grundlagen Elektromagnetischer Verträglichkeit in energietechnischen Anlagen

High Voltage Engineering II (Winter Term)

Lecturer: Prof. Dr.-Ing. A. Schnettler
L2, E1, from 7th semester, International Master Program: 3rd semester

Content

- Generation and measurement of high AC, DC and impulse voltages
- Dividers and Shunts
- High voltage equipment: Construction, capacitors, bushing, transformers, breakers
- Electromagnetic compatibility (EMC) for power systems

Schutzmaßnahmen und Schutzeinrichtungen in elektrischen Netzen und Anlagen

Dozent: Prof. Dr. rer. nat G. J. Pietsch
V2, Ü1, ab 5. Semester

Inhalt

- Sicherheitsvorschriften und Normen, nationale, regionale und internationale Normen, rechtliche Grundlagen der Normung; Prüfzeichen
- Gefahren durch elektrischen Strom, Unfallstatistik, Stromwirkungen auf den Menschen; Sicherheitsgrenzen; Gefährdung durch hochfrequente Felder
- Schutzmaßnahmen in Niederspannungsanlagen gegen direktes und bei indirektem Berühren; Netzformen; Schutz- und Funktionskleinspannung; Bewertung
- Schutzmaßnahmen in Hochspannungsanlagen, Erdung; Überspannungs- und Blitzschutz
- Schutz von Leitungen und Kabeln, Überlast; Kurzschluß
- Schutzeinrichtungen und deren Wirkungsweise, Schutzkriterien; Sicherungen; LS- und FI-Schutzschalter; Relais; Überspannungsableiter
- Schutzsysteme, Motor-, Generator-, Transformatorenschutz.

Protective Measures and Equipment in Power Supply Systems and Electrical Installations

Lecturer: Prof. Dr. rer. nat G. J. Pietsch
Dr.-Ing. Bernhard Thies
L2, E1, Master program in Electrical Power Engineering

Content

- Regulations and standards, national, regional and world-wide safety regulations and standards, legal authority of standardisation, test certificates
- Risk of electric currents, accident statistics, effects of current on human body, safety limits, endangering by high-frequency fields
- Protective measures of low voltage installations against direct and indirect contact, configurations of the network, safety, protectional and functional extra low voltage, evaluation
- Protective measures of high voltage installations, earthing, overvoltage and lightning protection
- Protection of lines and cables against overload and short circuits
- Protective equipments and their modes of action, protection criteria, fuses, line protective switches and current-operated earth-leakage circuit breakers, relays, surge arresters
- Protection systems for motors, generators and transformers

Power Cable Engineering (Winter Term)

Lecturer: Dr.-Ing. D. Meurer
L2, E1, from 5th Semester

Content

- Introduction: cable industry, cable market, power cables in networks, history, technical standards, transmission properties
- Cable Components: materials, conductor, insulation, screen, sheath, armour
- Design: low-/medium-/high-voltage cables, utility/special cables
- Production: paper insulated/extruded cables, conductor/core/cable
- Quality Management: ISO 9000, quality assurance, type-/sample-/routine-test, commissioning test, ageing, lifetime
- Accessories: termination, joints, field control, installation techniques
- Cable Projects: cable route, current carrying capacity, transport, laying
- High Power Cables: cable losses, forced cooling, HVDC, gas-insulated cables, cryogenic cables, superconducting cables (LTSC, HTSC)

Seminar Hoch- und Mittelspannungsschaltgeräte und -anlagen (SS)

Dozent: Prof. Dr.-Ing. A. Schnettler
Dr.-Ing. M. Schumacher, ABB AG
ab 6. Semester

Inhalt

- Schaltlichtbögen
- SF_6-Hochspannungsleistungsschalter
- Vakuumschalter
- Hochspannungssicherungen
- Kabelsteckverbindungen
- Leistungstransformatoren
- Einführung in die Anlagentechnik und gasisolierte Schaltanlagen
- Freiluftschaltanlagen und Anlagen der Hochspannungsgleichstromübertragung
- Mittelspannungsfelder und -schaltanlagen
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen in der Entwicklung
- Schutz- und Stationsleittechnik
- Betriebserfahrungen mit moderner Sekundärtechnik
- Asset Management in Verteilnetzen

Siehe Bericht auf Seite 105

Freileitungen (WS)

Dozent: Dr.-Ing. Ralf Puffer
V2, Ü1, ab 5. Semester

Inhalt

- Netze der elektrischen Energieversorgung, Komponenten in elektrischen Netzen
- Freileitungen: Übertragungstechnologien, Trends, Anforderungen
- Komponenten von Freileitungen: Maste, Leiter, Isolatoren, Armaturen, Gründungen, Erdungen
- Bauarten von Freileitungen: Drehstrom-Freileitungen, Gleichstrom-Freileitungen, Wechselstrom-Freileitungen, Masttypen, Mastbilder
- Bau von Freileitungen: Trassenwahl, Geländearbeiten, leitungstechnische Berechnungen, Genehmigungsverfahren, Montage, Inbetriebnahme
- Betrieb von Freileitungen: Strombelastbarkeit, Isolationskoordination, Erdung, Netzführung
- Instandhaltung von Freileitungen: Begehung, Inspektion, Sichtkontrolle, Zustandserfassungen, Verbindungen, Messung Erdübergangswiderstand
- Übertragungskapazität von Freileitungen: Strombelastbarkeit, Auslegungstemperatur, Berechnung Durchhang / Bodenabstand, natürliche Leistung
- Leiter für Freileitungen: Anforderungen an Leiter für Freileitungen, Aufbau von Leitern
- Optimierung der Übertragungskapazität von Freileitungen

Unternehmensführung für Ingenieure (SS)

Dozent: Dr.-Ing. Joachim Schneider
V2, Ü1

Inhalt

- Unternehemsstruktur, Interne Organisation: Matrix, Profit und Cost Center; Logistik, Managementebenen; Externe Organisation: Rechtsformenvon Unternehmen
- Rechnungswesen: Internes und Externes Rechnungswesen: Buchhaltung, Kennzahlen (KPI), Liquiditätsplanung, Bewertung (z.B. Shareholder Value)
- Finanzmanagement: Investition und Finanzierung, Cash-Flow
- Elementare Management Funktionen: Strategische Planung, Budgetierung, Controlling, Shareholder-Value-Management
- Spezielle Management Funktionen: Project Management (Risk Analysis, Cost Planning), Marketing, Total Quality Management, Personalmanagement, Key Account Management, Corporate Governance
- Optimierung von Geschäftsprozessen: Prozessanalyse (Flow Charts, Process Mapping), Process Controlling (Customer Audits, Benchmarking), Quality Function Deployment
- Management Techniken: Methoden der Analyse (Portfolio-, Gap-, SWOT-Analyse), Prognose and Szenarioanalyse, Balanced Score Card

Praktika am IFHT

Energietechnisches Praktikum I (SS)

TÜ4, ab 6. Semester

Inhalt

Das energietechnische Praktikum I wird von mehreren Lehrstühlen durchgeführt. Drei Versuche finden am Institut für Hochspannungstechnik statt:

- Wechselspannungsmessung und Durchschlagsuntersuchungen
- Gleichspannungserzeugung und -messung
- Stoßspannungserzeugung

Energietechnisches Praktikum II (WS)

TÜ4, ab 7. Semester

Inhalt

Das energietechnische Praktikum II wird von mehreren Lehrstühlen durchgeführt. Drei Versuche finden am Institut für Hochspannungstechnik statt:

- Messen mit Teilern
- Stoßspannungsverteilung an Transformatorwicklungen
- Elektromagnetische Verträglichkeit

Laboratory in Electrical Power Engineering I (Summer Term)

TÜ4, from 6th Semester

Content

The laboratory in Electrical Power Engineering I is carried out by several institutes. Three experiments take place at the Institute for High Voltage Engineering:

- Measurement of alternating voltages / Breakdown measurements
- Generation and measurement of direct voltages
- Surge voltages

Laboratory in Electrical Power Engineering II (Winter Term)

TÜ4, from 7th Semester

Content

The laboratory in Electrical Power Engineering II is carried out by several institutes. Three experiments take place at the Institute for High Voltage Engineering

- High Voltage Divider
- Transient Processes on Wires, Travelling Waves
- Electromagnetic Coupling

Hochspannungstechnisches Praktikum

TÜ4, ab 7. Semester für Elektrotechniker

Inhalt

- Durchschlagsuntersuchungen
- Gleichspannungsuntersuchungen
- Teilentladung
- EMV Störungseinkopplung
- Stoßspannungsuntersuchung
- Transiente Vorgänge auf Leitungen
- Hochspannungsmeßtechnik
- Dimensionierung synthetischer Prüfkreise

Elektrotechnisches Praktikum I (SS)

TÜ3, ab 2. Semester Elektrotechniker und Lehramtskandidaten

Inhalt

Das Praktikum enthält 8 Grundlagenversuche zur Einarbeitung in die elektrische Versuchstechnik mit folgenden Themenkreisen:

- Strom- und Spannungsquellen
- Spannungsteiler
- Messung in linearen Netzen
- Simulation linearer Netzwerke
- Dioden und Transistoren
- Operationsverst. (Messung)
- Operationsverst. (Simulation)
- Messung nichtelektr. Größen

High Voltage Laboratory

TÜ4, from 7th Semester

Content

- Breakdown measurements
- Experiment on DC voltage
- Partial discharge
- EMC Interference Launch
- Surge voltages
- Transient processes on wires
- High voltage divider
- Dimensioning of a synthetic test circuit

Physikalisch-technische Laborübungen für Maschinenbauer (SS)

TÜ4, ab 4. Semester für Maschinenbauer und Lehramtskandidaten
Gemeinschaftsveranstaltung der Fakultäten für Elektrotechnik, Maschinenwesen und der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

Inhalt

Im Rahmen dieses Praktikums werden vom Institut vier Versuche angeboten:

1. Spannungsquelle, Transformator
2. Meßbereichserweiterung, Meßwandler, Leistungsmessung im Drehstromnetz
3. Elektronenstrahloszilloskop, Gleichrichtung
4. Digitale Meßtechnik

Diplom-, Master- und Studienarbeiten

Diplomarbeiten

Berak, Vladimir

Optimierte Ökoeffizienz-Bewertung von Flexibilisierungsmaßnahmen in Energieversorgungsnetzen
Begünstigt durch politische Maßnahmen hat die Nutzung regenerativer Energiequellen in Deutschland seit einigen Jahren einen starken Anstieg erfahren. Insbesondere die Windenergieintegration in das bestehende Netz stellt eine Herausforderung an das Energiesystem dar. Um die hohe Versorgungssicherheit aufrechtzuerhalten, müssen sowohl das Netz als auch die Erzeugungseinheiten flexibler betrieben werden. Darüber hinaus muss die Übertragungskapazität des Netzes erweitert werden, um die erzeugte Energie abtransportieren zu können. Im Rahmen der Diplomarbeit werden Kriterien zur Ökoeffizienzbewertung von Flexibilisierungsmaßnahmen in Verteilungsnetzen erarbeitet, anhand derer eine Bewertung der verschiedenen Flexibilisierungsmaßnahmen ermöglicht werden soll.
Betreuer: Dipl.-Ing. Uwe Macharey

Brennecke, Martin

Prognose des Betriebsmittelverhaltens bei einer modifizierten Asset-Management-Strategie
Im Rahmen der Diplomarbeit soll das Betriebsmittelverhalten anhand des Störungsgeschehens bei einer veränderten Instandhaltungsstrategie prognostiziert werden. Im Hinblick auf eine Veränderung von Zyklen, Inhalt und ggf. Kosten sowie Methodik der Instandhaltung sollen verschiedene Szenarien simuliert werden. Hierfür werden Daten eines Netzbetreibers für Hochspannungs-Schaltgeräte zur Verfügung gestellt, womit das Störungsgeschehen in Abhängigkeit der Betriebszeit berechnet werden kann. Darüberhinaus sollen Aussagen über das Ende der Lebensdauer unter Berücksichtigung der modifizierten Strategie sowie Aussagen über die Effizienz einer (optimierten) Instandhaltungsmaßnahme abgeleitet werden.
Betreuer: Dipl.-Ing. Stefan Federlein, Dipl.-Ing. Christian Hille

Gerhard, Alexander

Untersuchungen zum Durchschlagmechanismus in elastischem syntaktischem Schaum
In dieser Arbeit werden Untersuchungen zum Durchschlagsverhalten bei Wechselspannung in elastischem syntaktischem Schaum durchgeführt. Der Schaum besteht aus einer Silikonmatrix mit beschichteten Kunststoffmikrohohlkugeln als Füllstoff. Um die möglichen Ursachen für ein elektrisches Versagen des Isolierstoffes zu klassifizieren, werden zunächst die Wechselwirkungen zwischen einzelnen Mikrohohlkugeln anhand von Simulationen der elektrischen Feldverteilung innerhalb eines solchen Schaums untersucht. Des Weiteren wird der Einfluss zweier Herstellungsparameter (Mikrohohlkugeldurchmesser und Füllgrad) sowie der Umgebungstemperatur auf die Spannungsfestigkeit des Schaums untersucht. Teilentladungsmessungen von verschiedenen zweidimensionalen Schaumstrukturen zeigen die mögliche Schädigung, durch in den Kugeln statt findenden Teilentladungen. Die aus diesen Untersuchungen resultierenden Erkenntnisse dienen der Entwicklung eines Durchschlagsmodells in elastischem syn-

taktischem Schaum.
Betreuer: Dipl.-Ing. Michael Kessler

Lenzen, Bernd

Untersuchung der Widerstandsverteilung in einem Leistungsschaltermodell zum Zeitpunkt des Stromnulldurchganges
Durch die Beblasung des Lichtbogens in einem Leistungsschalter wird der Lichtbogen gekühlt und ihm wird Energie entzogen, so dass er in einem Stromnulldurchgang erlischt. Da die Kühlwirkung einen direkten Einfluss auf den Widerstand des Lichtbogens hat, können mit Hilfe einer örtlich aufgelösten Widerstandsverteilung Rückschlüsse auf die Kühlwirkungen vollzogen werden. In der vorliegenden Arbeit soll die Widerstandsverteilung im Bereich des Stromnulldurchganges in einem Schaltermodell untersucht werden. Dazu ist es zunächst notwendig, eine geeignete Messmethode zu evaluieren. In Voruntersuchungen werden Teilspannungsmessungen entlang eines Lichtbogens auf verschiedene Weisen durchgeführt. Simulationen und Experimente verdeutlichen einen Einfluss der verwendeten Messmethoden auf die gemessene Lichtbogenteilspannungen. Mit den erzielten Erkenntnissen wird die ausgewählte Messmethode im Schaltermodell integriert und Untersuchungen werden durchgeführt. Ergänzend zu den experimentellen Untersuchungen werden simulative Untersuchungen an einem Schaltermodell durchgeführt. Mit Hilfe dieser Simulationen werden an den gleichen Positionen wie im experimentellen Schaltermodell die Teilspannungen ermittelt, die mit den experimentellen Ergebnissen verglichen und diskutiert werden.
Betreuer: Dipl.-Ing. Ming-Chark Tang, Dipl.-Ing. Jan Christoph Kahlen

Lescher, Andreas

Potentialanalyse stationärer Brennstoffzellen als dezentrale Energiewandlungseinheiten
Die Arbeit thematisiert den Einsatz stationärer Brennstoffzellen als dezentrale Energiewandlungseinheiten in Deutschland. Mit dem Ziel signifikante Treibhausemissionen einzusparen, werden die Brennstoffzellen hinsichtlich ihrer Ökobilanz gegenüber ihren Konkurrenztechnologien untersucht. Neben der Entwicklung der Brennstoffzellen soll darüber hinaus die Wasserstofferzeugung thematisiert werden. Mögliche Interdependenzen der Brennstoffzellentechnologie mit anderen Energiewandlungseinheiten sollen ermittelt und dargestellt werden. Zu diesem Zweck wurde das in Umberto angelegte Future Power Analysis Modell des IFHT mit den betrachteten Brennstoffzellen und ihrer zugehörigen Wasserstofferzeugung erweitert. Bedeutende Einflussfaktoren des Brennstoffzellenmodells werden im Rahmen einer Szenarioanalyse untersucht und bis zum Zieljahr 2030 fortgeschrieben. Mit Hilfe eines Analyserasters der kombinierten Einflussfaktoren werden Szenarien erstellt und ihre Ergebnisse zur Ermittlung optimaler Handlungsoptionen einer ökologischen Energieversorgung herangezogen.
Betreuer: Dipl.-Ing. Thomas Dederichs

Lexen, Richard

Bewertung des Einflusses von Instandhaltungsstrategien auf das Störungsverhalten von 123-kV-Leistungsschaltern
Im Rahmen der Diplomarbeit soll anhand von Daten eines deutschen Netzbetreibers der Einfluss von Instandhaltungsstrategien auf das Störungsverhalten von Leistungsschaltern untersucht werden. In diesem Zusammenhang werden Wartungsprotokolle analysiert, um das Alterungsverhalten bestimmter Leistungsschalter darzustellen. Darüber hinaus soll mit Hilfe verschiedener Szenarien die Auswirkung einer veränderten Instandhaltungsstrategie bewertet wer-

den. Die Daten des Netzbetreibers werden in einer Access-Datenbank bereit gestellt, womit die Auswertung überwiegend mit Standard-Office-Software (MS Access, MS Excel) und MATLAB erfolgen kann.
Betreuer: Dipl.-Ing. Stefan Federlein, Dipl.-Ing. Christian Hille

Masmeier, Philipp

Theoretische und experimentelle Untersuchung von Lichtbogenform und Schaltverhalten in Leistungsschalter-Modellanordnungen mit alternativen Düsengeometrien
Selbstblasleistungsschalter schalten hohe Betriebsströme und Kurzschlussströme, indem sie in einer zylindrischen Isolierstoffdüse einen Lichtbogen ziehen, der sich durch die von ihm selbst erzeugte Gasströmung kühlt und bei erfolgreicher Schalthandlung verlischt. Dadurch muss erheblich weniger externe Antriebs- energie aufgewendet werden, was den Schalter kostengünstiger und im Aufbau einfacher macht. Dabei wird der nötige Druck durch das Abbrennen der Düsen- wände erzeugt, die der Wärmestrahlung des Lichtbogens direkt ausgesetzt sind und durch die ausströmenden Abbrandprodukte die Form des Lichtbogens selbst beeinflussen. In dieser Arbeit werden hinsichtlich eines besseren Verständnisses der ent- stehenden Lichtbogenform und des damit verbundenen Abbrandverhaltens alternative Düsenformen untersucht. Dabei ist eine Vielzahl von Geometrien möglich, die z.B. innerhalb der Düse eine zusätzliche Anordnung aus Isolierstoff besitzen. Diese werden sowohl unter der Zuhilfenahme von Multi-Physics-Simulationen als auch experimentell mit einer vereinfachten Düsengeometrie untersucht. Der Fokus liegt hierbei auf der Entwicklung und Verteilung der entstehenden Lichtbogenform und ihren Einfluss auf das Abbrandverhalten und den Druckaufbau.
Betreuer: Dipl.-Ing. Jan Christoph Kahlen, Dipl.-Ing. Ming-Chark Tang

Mateev, Matey

Konzeptionelle Bewertung der Umsetzbarkeit von Maßnahmen zur Steigerung der Übertragungskapazität von Freileitungen
Durch steigende Windenergieeinspeisungen sowie den internationalen Stromhandel werden die deutschen Übertragungsnetze bis an die Grenze ihrer Übertragungsfähigkeit ausgelastet. Um Engpässen entgegenzuwirken, wird der Einsatz von Maßnahmen zur Steigerung der Übertragungskapazität bestehender Freileitungen in Betracht gezogen. Im Rahmen der Diplomarbeit werden Kriterien untersucht, die die Umsetzung von Maßnahmen wie die temporäre Erhöhung der Übertragungskapazität und den Einsatz von Hochtemperaturfreileitungsseilen wesentlich beeinflussen.
Betreuer: Dipl.-Ing. Uwe Macharey

Pamir, Erol

Durchschlagsversuche in biologisch abbaubarem Öl zur Ermittlung der elektrischen Festigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur
Regelbare Leistungstransformatoren mit natürlichen Estern als Kühlmedium wurden in den letzten Jahren entwickelt und auf den Markt gebracht. Auf Grund der, im Vergleich zu Mineralöl, erhöhten Viskositäten von natürlichen Estern kommt es im Bereich von Tieftemperaturen zur Verseifung des Kühl- und Isolierstoffmediums. Durchschlagsversuche in einer Klimakammer sollen die elektrischen Festigkeiten von natürlichem Ester über den Temperaturbereich von -20°C bis +80°C zeigen. Für die Durchführung der Versuche steht aus einer früheren Diplomarbeit eine Versuchsanordnung zur Verfügung. Die Ergebnisse der Durchschlagsversuche sollen mit entsprechenden Ergebnissen aus Versuchen mit

Mineralöl verglichen werden.
Betreuer: Dipl.-Ing. Michael Rösner, Dipl.-Ing. Stefan Federlein

Post, Stefan

Theoretische und experimentelle Untersuchung von Druckaufbau, Abbrand- und Schaltverhalten von Leistungsschalter-Modellanordnungen mit alternativer Düsengeometrie
In heutigen Selbstblasleistungsschaltern wird der Lichtbogen, welcher bei der öffnenden Schalthandlung unweigerlich entsteht, durch ein Löschgas beblasen, dessen Beblasungsdruck zuvor vom Lichtbogen selbst erzeugt wurde. Der Lichtbogen brennt dabei innerhalb einer zylindrischen Isolierstoffdüse, von deren Wand durch die Wärmestrahlung des heißen Lichtbogenplasmas Material verdampft und dadurch der Beblasungsdruck aufgebaut wird. Durch dieses Selbstblasprinzip kann verglichen mit einem Pufferschalter ein nicht unerheblicher Anteil der Antriebsleistung des Schalters eingespart werden, wodurch der Selbstblasschalter kostengünstiger als andere Schaltertypen produziert werden kann. In der vorliegenden Arbeit wird eine neuartige Düsengeometrie zur Verbesserung des Druck- aufbaus und des Ausschaltvermögens untersucht. Zur theoretischen und experimentellen Untersuchung wird diese neue Düsengeometrie zunächst in einer vereinfachten Modellanordnung außerhalb des Selbstblasschalters betrachtet, um grundlegende Effekte des Lichtbogenverhaltens innerhalb der Düse zu untersuchen. Im Anschluss werden in einem Prüfkreis nach Weil-Dobke der Druckaufbau sowie das thermische Ausschaltvermögen in einem Modellschalter mit der neuen Düsengeometrie ermittelt und mit der herkömmlichen Düsengeometrie verglichen.
Betreuer: Dipl.-Ing. Jan Christoph Kahlen, Dipl.-Ing. Ming-Chark Tang, Dipl.-Ing. Andreas Kurz

Roggendorf, Christoph

Bestimmung der dielektrischen Festigkeit von Heißgas in abbrandbestimmten Geometrien
In Leistungsschaltern wird auch einige Millisekunden nach dem Stromnulldurchgang noch Düsenmaterial verdampft. Im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit wird der Einfluss dieses Effektes auf die dielektrische Wiederverfestigung der Schaltstrecke experimentell untersucht. Dazu wird eine zylindrische Düsengeometrie als vereinfachtes Modell des Lichtbogenbereiches in einem Leistungsschalter betrachtet. Die Prüflinge werden zunächst mit einem hohen Strom und dann, nach unterschiedlichen Verzögerungszeiten nach dem Verlöschen des Stromes, mit einem Spannungsimpuls belastet. Die dielektrische Wiederverfestigung wird anhand der von der Verzögerungszeit abhängigen Durchschlagspannung der Anordnung ausgewertet. Neben den unterschiedlichen Verzögerungszeiten werden auch unterschiedliche Ströme, Kontaktabstände und Düsenmaterialien untersucht. Außerdem wird ein physikalisches Modell des Wiederverfestigungsprozesses entwickelt, das auch anhand von optischen Untersuchungen verifiziert wird.
Betreuer: Dipl.-Ing. Andreas Kurz

Römelt, Simon-Patrick

Theoretische und experimentelle Untersuchung des Nachstrombereichs eines Selbstblasleistungsschaltermodells
In dieser Arbeit werden zwei neue Modelle für die Simulation von Leistungsschaltern implementiert. Dabei handelt es sich um ein Modell zur Simulation der Stromnullphase und eins zur Simulation des Nachstrombereiches. Da der Wärmetransport durch Strahlung der dominierende Mechanismus während des Ausschaltvorgangs eines Leistungsschalters ist, werden Strahlungsmodelle zur Modellierung der Strahlung des

Lichtbogens verwendet. Die Erneuerung in der Simulation der Stromnullphase besteht in der Implementierung des DOM Strahlungsmodells (Diskrete Ordinaten Methode). In den bisherigen Stromnullsimulationen wird das NEC Modell (Nettoemissionskoeffizienten Methode) verwendet. Im Vergleich des NEC mit dem DOM Strahlungsmodell zeigt sich, dass unterschiedliche Ansätze der Strahlungsmodellierung zu abweichenden Ergebnissen in den simulativen Untersuchungen führen können. Der Unterschied wird anhand der Variation der Düsenlänge und der Löschgastemperatur vorgestellt. Die Simulation des Nachstrombereiches erfolgt in Anlehnung an die in der Literatur beschriebenen Ansätze unter Annahme eines lokalen thermischen Gleichgewichtes. Untersuchungen haben gezeigt, dass diese Annahme für den Nachstrombereich nur eingeschränkt gültig ist. In dieser Arbeit wird die Druckabhängigkeit des kritischen Widerstandes, der ein Kriterium für das thermische Ausschaltvermögen darstellt, mit diesem Simulationsmodell untersucht.
Betreuer: Dipl.-Ing. Jan Christoph Kahlen, Dipl.-Ing. Ming-Chark Tang

Schalla, Regina

Untersuchung zur Detektion und Evaluation von akkumulierten Fehlstellen in polymerem Isolierstoff mittels Ultraschall
In polymeren Isolierstoffen können Akkumulationen singulärer Fehlstellen auftreten. Aufgrund von Interferenzeffekten der Echoimpulse ergibt sich durchaus eine Fehlbeurteilung der Reflektorfläche der Akkumulation singulärer Fehlstellen anhand der Echoamplitude. Im Rahmen dieser Arbeit werden Verfahren erarbeitet, die ein Erkennen von Akkumulationen singulärer Fehlstellen erlauben. Zunächst wird ein Modell für die Akkumulation zweier singulärer Fehlstellen ermittelt, dass für die Durchführung von Messreihen eine gute Reproduzierbarkeit aufweist. Das Modell besteht aus zwei Rundstiften. Anhand dieses Modells werden Prüfanordnungen erstellt, die in Silikonprüfkörper eingegossen werden. Die Prüfanordnungen werden mittels Ultraschall in Tauchtechnik vermessen. Eine Auswertung der erhaltenen Messdaten erfolgt sowohl im Zeitbereich als auch im Frequenzbereich. Ziel ist es charakteristische Eigenschaften aufzuzeigen, die der Akkumulation der singulären Fehlstellen zuzuordnen sind. Bei der Überprüfung der entwickelten Auswerteverfahren an den Silikonprüfkörpern zeigt sich, dass die Verfahren im Frequenzbereich eine Erkennung der akkumulierten Fehlstelle nicht erlauben. Mittels der Verfahren im Zeitbereich ist eine Auflösung der Akkumulation der singulären Fehlstellen als solche möglich.
Betreuer: Dipl.-Ing. Torsten Wirz

Scheufen, Martin

Analyse des Einflusses möglicher Klimaveränderungen auf Energieversorgungsnetze
Im Rahmen dieser Arbeit werden methodische Ansätze vorgestellt, mit deren Hilfe die Auswirkung klimatischer Einflüsse auf das elektrische Energieversorgungsnetz quantifiziert und einer technischen Bewertung zugänglich gemacht werden können. Die Arbeit präsentiert Verfahren zur Erzeugung synthetischer Klimazeitreihen unter Berücksichtigung der raumzeitlichen Korrelationen. Anhand der im Rahmen der Arbeit entwickelten Software wird die funktionsfähige Verknüpfung der entwickelten Verfahren aufgezeigt und ein ausgewähltes Szenario beispielhaft diskutiert. Ein theoretischer Ansatz zur Bewertung der Klimasensitivität eines Energieversorgungssystems wird beschrieben
Betreuer: Dipl.-Ing. Thomas Dederichs

Schütte, Gregor

Untersuchung zum Einfluss der Temperatur auf die Ultraschalldiagnostik an polymerem Isolierstoff
In der Isolierstofftechnik werden polymere Kunststoffe zur Herstellung von Isoliersystemen verwendet. Zur Zustandsbewertung und Qualitätssicherung kommt neben der elektrischen Prüfung die Ultraschalldiagnostik zum Einsatz. Im Rahmen einer Verbesserung dieser Zustands- und Qualitätsbewertung werden die Temperaturabhängigkeiten der akustischen Eigenschaften von Ethylen-Propylen-Dien-Monomer (EPDM) ermittelt, welches beispielsweise zur Herstellung von Hochspannungskabelmuffen verwendet wird. Auf Basis dieser ermittelten akustischen Kenndaten werden das Temperaturverhalten des Reflexionsfaktors gerußtes/ungerußtes EPDM (Leitschicht/Isolierung) sowie der Einfluss der Wellenlängenänderung auf die Detektierbarkeit von Fehlstellen untersucht. Es zeigt sich, dass die akustischen Kenngrößen wie Schallgeschwindigkeit und Schallkennimpedanz eine hohe Abhängigkeit von der Temperatur besitzen. Das akustische Dämpfungsverhalten zeigt neben der starken Temperaturabhängigkeit eine ebenfalls hohe Abhängigkeit von der Mittenfrequenz des Ultraschallsignals, wobei hohe Frequenzen stärker gedämpft werden als niedrige Frequenzen. Die Reflektivität der Grenzfläche gerußtes/ungerußtes EPDM weist eine verhältnismäßig geringe Abhängigkeit von der Temperatur auf, was im Widerspruch zu einer anhand der akustischen Kenndaten erstellten Modellierung steht. Die Untersuchung der Detektierbarkeit von Fehlstellen hinsichtlich einer Wellenlängenänderung in diskreten Tiefen im EPDM ergibt keinen analytisch auswertbaren Zusammenhang zwischen der Fehlstellengröße und der reflektierten Echoamplitude. Es lässt sich jedoch eine bessere Detektion aufgrund verringerter Dämpfung bei hohen Temperaturen durch erhöhte Echoamplituden nachweisen.
Betreuer: Dipl.-Ing. Torsten Wirz

Spaan, Arndt

Untersuchung des Ausschaltverhaltens von alternativen Füllgasen für Selbstblasleistungsschalter
Schwefelhexafluorid (SF6) ist auf Grund seiner hervorragenden thermischen und dielektrischen Eigenschaften das meist verwendete Löschgas für Leistungsschalter. Dem hohen Ausschaltvermögen steht das hohe Treibhauspotential gegenüber. Hinsichtlich ökologischer Gesichtspunkte ist es somit erforderlich, geeignete Substitute für den Einsatz in Leistungsschaltern zu evaluieren. Anhand definierter Kriterien werden synthetische Luft und Stickstoff als potentielle Alternativgase ausgewählt und sowohl simulativ als auch experimentell untersucht. Die simulativen Untersuchungen der Hochstromphase erfolgen mit einer Computational-Fluid-Dynamics Software. Zur Bestimmung des Ausschaltvermögens der unterschiedlichenGase wird ein Modellschalter in einem synthetischen Prüfkreis nach Weil-Dobke verwendet. Dabei ergeben sich unter gleichen Rahmenbedingungen (Strom, Druck) signifikant unterschiedliche Ausschaltvermögen im Vergleich zu SF6. Das Ausschaltvermögen von synthetischer Luft und Stickstoff liegt in einer vergleichbaren Größenordnung.
Betreuer: Dipl.-Ing. Ming-Chark Tang, Dipl.-Ing. Piotr Margiel

Splettstößer, Martin

Evaluierung von Softwaretools zur Simulation von Lichtbögen innerhalb gasgefüllter Leistungsschalter
Zur Erweiterung der Kenntnis physikalischer Prozesse in gasgefüllten Leistungsschaltern und zur Kostenreduktion bei der Entwicklung von Leistungsschaltern wer-

den Computational Fluid Dynamics (CFD) Simulationen eingesetzt. In dieser Arbeit werden verschiedene CFD-Tools auf ihre Anwendbarkeit bei der Simulation von Leistungsschaltern hin evaluiert. Zusätzlich zu grundlegenden Komponenten zur Beschreibung der Einflüsse des elektrischen Lichtbogens (wie z.B. Turbulenz- und Strahlungsmodelle) sollte ein CFD-Tool auch in der Lage sein, bewegte Geometrien zu simulieren. Zunächst wird ein Anforderungsprofil erstellt, um alle zur Simulation der Phänomene, die in gasgefüllten Leistungsschalter auftreten, erforderlichen Eigenschaften einer CFD-Software aufzulisten. Auf der Grundlage dieses Katalogs wird eine Recherche durchgeführt, die in einer Liste potentieller Programme resultiert. Am Ende dieser Suche steht die Entscheidung, das Programm Code_Saturne der Firma EDF intensiv zu analysieren. Um die in einer Simulation implementierten Komponenten und Modelle zu validieren, werden verschiedene Testfälle erstellt. Zwei dieser Testfälle werden mit Code_Saturne untersucht. Als erstes wird die Fähigkeit der Software elektrische Vorgänge zu berechnen anhand von zwei unterschiedlichen Geometrien überprüft. Anschließend wird der klassische Flow Solver betrachtet. Es wird eine vereinfachte Leistungsschaltergeometrie erstellt, in der mit Code_Saturne eine kalte Gasströmung simuliert wird.
Betreuer: Dipl.-Ing. Ming-Chark Tang, Dipl.-Ing. Matthias Hoffacker

Strauchs, Anja

Untersuchungen zur Auswirkung von Modifikationen innerer Grenzflächen auf die elektrischen Eigenschaften von syntaktischem Schaum
Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die theoretische und experimentelle Untersuchung von syntaktischem Schaum, einem Verbundwerkstoff aus Epoxidharz und darin eingebetteten Glas-Mikrohohlkugeln. Durch das Einbringen von Hohlkugeln in Harz entstehen im Inneren des Materials Grenzflächen. Der Einfluss verschiedener Haftungsqualitäten an den Grenzflächen auf die elektrische Spannungsfestigkeit im Kurzzeitbereich soll bestimmet werden. Dazu werden am Material sowohl mechanische Untersuchungen zur Bestimmung der Haftungsqualität (Zugversuche und Gefrierbrüche), als auch elektrische Untersuchungen zur Ermittlung der Spannungsfestigkeit durchgeführt. Zur Modifikation der Grenzflächenhaftung werden Hohlkugeln mit unbehandelter, befeuchteter und silanbeschichteter Oberfläche verwendet. Eine weitere Möglichkeit der Grenzflächenmodifikation bietet eine andere Glaszusammensetzung. Durch Vergleich der ermittelten Haftungsqualitäten und der ermittelten Spannungsfestigkeit der untersuchten Schaumtypen kann zum Abschluss der Arbeit die Aussage getroffen werden, dass die Beschaffenheit der inneren Grenzflächen in syntaktischem Schaum sich direkt auf die Durchschlagfestigkeit des Materials auswirkt.
Betreuer: Dipl.-Ing. Alexander Tröger, M.Sc. Andrey Mashkin

Vrana, Til

Analyse und Definition technischer Anforderungen an dezentrale umrichtergekoppelte Energiewandlungseinheiten in Verteilungsnetzen
Aktive Leistungsumrichter sind flexibel einsetzbar und können mit hoher Dynamik reagieren. Viele Umrichter, die z.B. als Ladegerät für Batteriespeicher eingesetzt werden, nutzen nur einen geringen Teil ihres technischen Potentials. Diese Arbeit entwickelt ein Regelungsschema, welches die Funktion des Batterieladens mit der Regelung der Netzfrequenz kombiniert. So könnte durch bessere Ausnutzung der Möglichkeiten der Umrichter die Netzstabilität erheblich verbessert werden, ohne dass

diese zusätzliche Regelaufgabe signifikante Auswirkungen auf die Primärtätigkeit des Umrichters hätte. Umrichtersysteme, deren Regelung Aspekte der Netzstabilität nicht betrachtet, würden sich hingegen negativ auf die Frequenzstabilität auswirken. Exemplarisch werden Elektro- und Hybridfahrzeuge mit Batteriespeicher und Netzanschluss als Umrichtersysteme betrachtet. Mittels Simulationen mit Matlab Simulink kann die Auswirkung, die eine große Anzahl von Fahrzeugen mit entsprechender Regelstrategie auf die UCTE-Netzfrequenz hätte, betrachtet werden. Bereits 100.000 ladende Fahrzeuge könnten signifikante Auswirkungen auf den Frequenzverlauf nach einem Kraftwerksausfall haben. Die entworfene Regelstrategie verfolgt das Ziel, ein Teil neuer Netzanschlussregeln für Umrichtersysteme zu werden.
Betreuer: Dipl.-Ing. Thomas Dederichs, Dipl.-Ing. Christian Hille

Weber, Thorsten

Konzeption und Aufbau eines Versuchsfeldes zur synthetischen Prüfung von Hochspannungsleistungsschaltern
In dieser Arbeit wird ein synthetischer Prüfkreis nach Weil-Dobke konzipiert und aufgebaut. Neben der Erfüllung der Anforderungen an die Prüfschaltung bezüglich der erreichbaren Ströme und Spannungen, werden gültige Normen und Sicherheitsvorschriften hinsichtlich der Personen- und Betriebssicherheit bei der Planung und dem Aufbau mit einbezogen. Für einen teilweise automatisierten Prüfablauf wird die Anlage mit einer speicherprogrammierbaren Steuerung ausgerüstet, die über eine graphische Benutzeroberfläche ein Bedienen und Überwachen per PC ermöglicht. Eine räumliche Trennung der Prüfkreiskomponenten von den Laborräumlichkeiten, welche mit dem synthetischen Prüfkreis über ein Trenner- / Erdersystem verbunden werden können, bietet einen erhöhten Personenschutz sowie eine Steigerung der Versuchsrate. Abschließend werden die aufgebauten Komponenten in Betrieb genommen und die durch Messung ermittelten Prüfkreisdaten mit den rechnerisch ermittelten Größen verglichen.
Betreuer: Dipl.-Ing. Andreas Kurz, Dipl.-Ing. Jan Christoph Kahlen

Masterarbeiten

Esenlik, Burak

Verification of the design rules of high voltage insulation on basis of mineral oil regarding applicability on Ester fluids
Environmental friendly products made from renewable resources are more and more relevant in industry and private households. In the area of power transformers, insulation liquids on basis of natural and synthetic esters were only used for the production of small distribution transformers. The actual trend however is the production of transformers of higher and higher performances on the basis of ester liquids. The dielectric strength of ester fluids themselves is well known, but the dielectric strength of mixed dielectrics, like they occur in transformers was not investigated enough. The goal of this master thesis is the performance of breakdown tests in ester fluids, using different arrangements at 50 Hz AC as well as with standard lightning pulse.
Betreuer: Dipl.-Ing. M. Rösner; M.Sc. T. Cheumchit

Pollok, Thomas

Evaluation of the operational and economical performance of GIS and AIS transmission substations in Australia
Components of the currently installed electrical equipment infrastructure are reaching the end of their respective lifecycles. Consequentially, refurbishment and extension proceedings of presently installed devices

in substations need to be analysed. This analysis will consider the current operation of air insulated switchgear at 132-kV- and 275-kV-voltage level substations, while at the same time evaluating the benefits of using gas insulated switchgear in these substations. The goal of this analysis is to examine and recommend upon the suitability of gas insulated switchgear within the electrical grid for future expansion and maintenance works.
Betreuer: Dipl.-Ing. S. Federlein

Sidejchayabhon, Virithipol

Switching Surge Phenomenon in High Power Furnace Transformers
Electrical arc furnaces are the fundamental technology in today's steel production routine. In order to design suitable protection circuit for electrical arc furnaces, a correct simulation model is first needed. In this thesis an accurate model for vacuum circuit breakers is developed for proper RC filters dimensioning. This thesis also describes other surge protection systems used in furnace transformers such as surge arresters on high voltage side and damping capacitors on the low voltage side and the methods for their proper selection and dimensioning.
Betreuer: Dipl.-Ing. Ming-Chark Tang

Tewari, Asheesh

Conceptual design and implementation of a test setup for simultaneous ageing investigation of insulation materials at different electric field stresses
The scope of this master thesis include the design and implementation of a new test system to provide life cycle tests on dielectrics at different DC voltages simultaneously. A three step ohmic voltage divider, supplyed by only one HVDC generator, is utilized to provide voltages levels of 100kV, 90 kV and 80 kV respectively. In the event of a breakdown, the current through the failed sample is limited. The state of every test sample is logged continuously with respect to time by means of a multichanel hardware and sofware.
Betreuer: M.Sc. Andrey Mashkin

Studienarbeiten

Beering, Ralf

Untersuchung zum Einfluss der Kommunikationstechnik auf dezentrale Energiespeicher
Betreuer: Dipl.-Ing. Thomas Dederichs

Berak, Vladimir

Analyse des heutigen und zukünftigen Wärmebedarfs von unterschiedlichen Verbrauchergruppen
Betreuer: Dipl.-Ing. Thomas Smolka

Düren, Klaus Philipp

Untersuchung der Korrelation zwischen inspizierten Schäden und aufgetretenen Störungen bei Hochspannungs-Betriebsmitteln
Betreuer: Dipl.-Ing. Christian Hille, Dipl.-Ing. Stefan Federlein

Dupper, Arthur

Bewertung verschiedener Kunststoffe hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit in der Automobilindustrie
Betreuer: Dipl.-Ing. Michael Kessler

Eichhoff, Daniel

Untersuchung von Strahlungsmodellen zur Simulation von Schaltlichtbögen
Betreuer: Dipl.-Ing. Matthias Hoffacker, Dipl.-Ing. Ming-Chark Tang

El Ouadhane, Harethe

Vergleich der Wirksamkeit unterschiedlicher Lichtbogenabsorbertypen
Betreuer: Dr.-Ing. Michael Schmale, M. Sc. Kittipong Anantavanich

Ellerkamp, Florian

Entwicklung eines Verfahrens zur Probenherstellung von elastischem syntaktischem Schaum mit einzelnen Mikrohohlkugel
Betreuer: Dipl.-Ing. Michael Kessler

Guiagaing, Armel

Einfluss der Mikrohohlkugelabmessungen auf das Schädigungsgeschehen in syntaktischem Schaum
Betreuer: M.Sc. Andrey Mashkin

Helmschrott, Thomas

Ökoeffzienzanalyse einer fernsteuerbaren, elektrischen Wärmebereitstellung
Betreuer: Dipl.-Ing. Thomas Dederichs

Jetzki, Matthias

Einfluss der Umgebungsparameter auf das Störungsgeschehen von betriebsgealterten polyestergefüllten Kabelmuffen
Betreuer: M.Sc. Andrey Mashkin

Kamewe, Alexis

Untersuchung der Auswirkungen von Oberflächebeschichtungen von Mikrohohlkugeln auf die elektrischen Eigenschaften von syntaktischem Schaum
Betreuer: M.Sc. Andrey Mashkin

Kippen, Michael

Untersuchung des Alterungsverhaltens von 123 kV Drehtrennschaltern
Betreuer: Dipl.-Ing. Stefan Federlein, Dipl.-Ing. Christian Hille

Knaak, Mathias

Parameterstudie zur Optimierung der Düsengeometrie eines Selbstblasleistungsschalter-Modells
Betreuer: Dipl.-Ing. Christoph Kahlen, Dipl.-Ing. Andreas Kurz

Landt, Martin

Untersuchung von technischen Randbedingungen zur Einsetzbarkeit einer mobilen Kabelstrecke zur temporären Überbrückung defekter Freileitungsabschnitte
Betreuer: Dipl.-Ing. Christian Hille

Mannebach, Andreas

Bestimmung der dielektrischen Festigkeit von heißem CF4 in einer abbrandbestimmten Anordnung
Betreuer: Dipl.-Ing. Andreas Kurz

Pyttlik, Oliver

Untersuchungen zur zeitlichen Abhängigkeit der Emissionsbehaftung des deutschen Strommixes
Betreuer: Dipl.-Ing. Thomas Dederichs

Roder, Jochen

Potentialanalyse des Einsatzes von Wärmepumpen als Teil einer zukünftigen Energieversorgungsstrategie
Betreuer: Dipl.-Ing. Thomas Dederichs

Rüberg, Sven

Anforderungen an Leistungsschalter in zukünftigen Energieversorgungsnetzen
Betreuer: Dipl.-Ing. Matthias Hoffacker

Scheefer, Christian

Potentialanalyse des Einsatzes von Niederspannungsgleichstromnetzen
Betreuer: Dipl.-Ing. Thomas Dederichs

Tadic, Jovan

Untersuchungen der elektrischen Eigenschaften von syntaktischem Schaum unter dem Einfluss von Feuchtigkeit und mechanischer Belastung
Betreuer: M.Sc. Andrey Mashkin

Winkel, Daniel

Schädigungsgeschehen im syntaktischen Schaum bei unterschiedlicher Homogenfeldbelastung
Betreuer: M.Sc. Andrey Mashkin

Seminar Hoch- und Mittelspannungsschaltgeräte und -anlagen 16.6. - 17.6. 2008

Steigende Nachfrage für die Teilnahme am Seminar für Hoch- und Mittelspannungsschaltgeräte und -anlagen veranlasste das Institut für Hochspannungstechnik den hauseigenen Hörsaal Eph im Rogowski-Gebäude für die alljährliche Veranstaltung am 16. und 17. 06.2008 zu belegen. Rund 150 Teilnehmer aus der Industrie, von Versorgungsunternehmen, wissenschaftliche Assistenten und Studenten besuchten die in Zusammenarbeit mit dem VDE Regio Aachen, der Forschungsgemeinschaft für elektrische Anlagen und Stromwirtschaft e. V. Mannheim, und der RWTH International Academy GmbH organisierte zweitägige Weiterbildungsveranstaltung.

Abb. 1: Veranstaltungsraum Hörsaal Eph

Ausgehend von den physikalischen Grundlagen bis zu den wirtschaftlichen Aspekten wurden Schaltgeräte und die Anlagentechnik in Fachvorträgen namhafter Referenten ausführlich behandelt. Anschließende Diskussionen und Erfahrungsaustausch ermöglichte den Teilnehmern einen umfassenden Überblick über den Aufbau und die Funktionsweise moderner Energieübertragungs- und Verteilungsanlagen und deren Komponenten. Die Teilnehmer begrüßten den engen Bezug zur Praxis, wie auch das breit gefächerte Themenspektrum. Dem Institut bescheinigten Teilnehmer und Referenten einen durchweg positiven Verlauf.

Das Seminar-Programm gliederte sich in folgende Vorträge:

- **Begrüßung**
  Prof. Dr.-Ing Armin Schnettler
  RWTH Aachen, Institut für Hochspannungstechnik
- **Einführung in die Thematik**
  Dr.-Ing. Martin Schumacher,
  ABB Schweiz AG Hochspannungsprodukte, Zürich
- **Schaltlichtbögen**
  Dr.-Ing. Max Claessens,
  ABB Schweiz AG, Zürich
- **SF_6-Hochspannungsleistungsschalter**
  Dr.-Ing. Roland von Starck,
  Ruhrtal GmbH, Bochum
- **Vakuumschalter**
  Dr.-Ing. Dietmar Gensch,
  ABB AG Calor Emag Mittelspannungsprodukte, Ratingen
- **Hochspannungssicherungen**
  Dipl.-Ing. Ulrich Haas,
  SIBA GmbH & Co. KG, Lünen
- **Ortsnetzstationen**
  Dipl.-Ing. Gisbert Brüggemann,
  Schneider Electric GmbH, Ratingen
- **Leistungstransformatoren**
  Dipl.-Ing. Frank Hofmann,
  AREVA Energietechnik GmbH, Mönchengladbach

- **Einführung in die Anlagentechnik und Gasisolierte Schaltanlagen**
  Dr.-Ing. Martin Schumacher,
  ABB Schweiz AG Hochspannungsprodukte, Zürich

- **Freiluftschaltanlagen und Anlagen der Hochspannungsgleichstromübertragung**
  Dr.-Ing. Uwe Kaltenborn,
  AREVA Energietechnik GmbH, Berlin

- **Mittelspannungsschaltanlagen**
  Dr.-Ing. Stefan Göttlich,
  ABB AG Calor Emag Mittelspannungsprodukte, Ratingen

- **Kabel und Freileitungen**
  Dr.-Ing. Frank Merschel,
  RWE Energy AG, Dortmund

- **Schutz- und Stationsleittechnik**
  Prof. Dr.-Ing. Siegfried Lemmer,
  Siemens AG, Nürnberg

- **Betriebserfahrungen mit moderner Sekundärtechnik**
  Dr.-Ing. Heinrich Hoppe-Oehl,
  RWE Rhein-Ruhr Netzservice GmbH, Neuss

- **Störungsgeschehen von Betriebsmitteln der Elektrizitätsversorgung**
  Prof. Dr.-Ing. Armin Schnettler,
  RWTH Aachen, Institut für Hochspannungstechnik

In diesem Jahr wurde das Programm durch eine Studentenexkursion zur 400kV Schaltanlage Aachener Kreuz und zum Transformatorenwerk der Firma AREVA Schorch Energietechnik GmbH in Mönchengladbach abgerundet. Bei allen Vortragenden, der STAWAG, Aachen und AREVA, Mönchengladbach möchten wir uns an dieser Stelle noch einmal herzlich bedanken. Aufgrund der guten Resonanz und positiven Kritik soll das Seminar auch 2009 angeboten werden.

Hochspannungstechnik für Konstrukteure

Ziel des Seminars "Hochspannungstechnik für Konstrukteure" ist die Vermittlung von Grundkenntnissen der Hochspannungstechnik an Praktiker, die ursprünglich nicht aus dem Bereich der Elektrotechnik kommen oder ihre Kenntnisse nach einiger Zeit wieder auffrischen möchten. Hierbei kommt eine Kombination aus traditioneller Wissensvermittlung und Anwendung modernster Medien wie z.B. das e-Learning zum Einsatz.

Einleitung

In der Industrie ist es notwendig, dass Spezialisten verschiedener Fachgebiete Hand in Hand arbeiten. Vorteilhaft ist es hierbei, wenn jeder ein grundlegendes Verständnis für die Problematik der jeweils anderen besitzt. Das IFHT bietet in diesem Zusammenhang ein Trainingsseminar für Mitarbeiter aus der Industrie an, in dem die maßgeblichen Problemstellungen der Hochspannungtstechnik vermittelt werden sollen.

Aufbau des Seminars

Das Seminar gliedert sich inhaltlich in fünf Einheiten:

- Grundlagen elektrischer Felder
- Dielektrika, Mischdielektrika, Grenzflächen und Isolationsfehler
- Durchschlagmechanismen, Alterung
- Komplexere Geometrien (Durchführungen), hochfrequente Vorgänge
- Magnetik und Transformatormessungen

Die ersten vier Units sind als Grundlagenvermittlung anzusehen. Das fünfte Kapitel wird individuell auf die jeweilige Zielgruppe zugeschnitten. Der klassische Teil besteht pro Unit aus einer zweistündigen theoretischen Einheit, einer einstündigen Übung sowie einer vierstündigen Laborübung. Es ist zu betonen, dass es auch im theoretischen Teil jederzeit die Möglichkeit der Diskussion in kleiner Gruppe (max. 6 Teilnehmer) gibt. Der Übungsteil soll das Wissen weiter vertiefen und quantitative Beispiele für die Anwendung der Theorie liefern. In der Laborübung soll schließlich das Gelernte eigenständig experimentell überprüft und angewendet werden. Der neuartige Teil der Wissensvermittlung bezieht sich auf das e-Learning. Über ein Internetportal besteht die Möglichkeit die Folien und Lernmaterialien nachzuschlagen sowie Links zu weiteren externen Angeboten zu verfolgen. In einem Selbsttest besteht die Möglichkeit, das Gelernte zu überprüfen und mögliche Lücken zu schließen. Schließlich besteht noch die Möglichkeit sich über ein Forum untereinander auszutauschen. Eine Aufnahme der Theorie und Übung auf Video wird ebenfalls angestrebt.

Fazit

Die ersten Durchgänge haben gezeigt, dass die gewählten Methoden der Wissensvermittlung großen Erfolg hatten und dazu beitragen konnten das Wissen auch über einen längeren Zeitraum zu wahren. Die Evaluierung durch die Teilnehmer hat ergeben, dass die Resonanz durchweg positiv ausgefallen ist.

Kontakt

Dipl.-Ing. Michael Keßler
kessler@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94936

Dipl.-Ing. Jan Christoph Kahlen
kahlen@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94912

Chronik
Veröffentlichungen
Exkursionen

Chronicle
Publications
Technical Excursions

Chronik 2008

21.01.-23.01.08
„World Future Energy Summit 2008“, Abu Dhabi
Referent: Armin Schnettler

28.01.08
25-jähriges Dienstjubiläum von Ralph Wegner

31.01.08
Letzter Arbeitstag von Alexander Tröger

04.02. - 08.02.08
DAAD-Vorauswahlsitzung für Stipendienbewerber (Forschungsstipendien) aus der russischen Föderation und Auswahlgespräche mit Bewerbern für Studienstipendien (Masterprogramm) in Moskau
Teilnehmer: Gerhard Pietsch

12.02.08
Promotion von Adam Slupinski zum Thema „Modellierung und Bewertung von Spannungseinbrüchen bei der Planung elektrischer Netze“ an der RWTH Aachen
Korreferent: Armin Schnettler

13.02. - 14.02.08
Cigré-Working Group C1-16 Meeting in Warwick/Birmingham, Großbritannien
Teilnehmer: Stefan Federlein

15.02.08
Traditionelles Sprottenessen mit Rückblick auf das Jahr 2007

06.03. - 07.03.08
Cigré-Working Group Meeting (A3.20) in Berlin
Teilnehmer: Gerhard Pietsch

05.03 - 06.03.08
Stuttgarter Hochspannungssymposium 2008 „Modernes Design und zuverlässiger Betrieb von Komponenten des elektrischen Netzes“
Teilnehmer: Christian Hille

28.03.08
Besuch der TU Lodz
Piotr Margiel

31.03.08
Letzter Arbeitstag von Bernhard Heil

01.04.08
Erster Arbeitstag von Thomas Smolka als Oberingenieur

07.04.08
Erster Arbeitstag von Gregor Schütte

18.04.08
Promotion von Mark Reuter zum Thema „Untersuchungen zur Zustandsbewertung von in Hochspannungskabeln eingesetzten Isolierungen aus vernetztem Polyethylen“ an der Universität Hannover
Korreferent: Armin Schnettler

22.04.08
Auswahlsitzung für Stipendiaten aus osteuropäischen Staaten der Mummert-Stiftung (Führungskräftenachwuchs) in Bonn-Bad Godesberg
Teilnehmer: Gerhard Pietsch

30.04.08
Letzter Arbeitstag von Torsten Wirz

07.05. - 08.05.08
Konferenz „Endesa Escuela de Energia“ in Sevilla, Spanien
Teilnehmer: Thomas Dederichs

12.05. - 16.05.08
Pfingstexkursion nach Basel, Zürich, Sindelfingen, Stuttgart
Exkursionsleiter: Armin Schnettler, Matthias Hoffacker, Christian Hille

18.05. - 20.05.08
4 High-Voltage-Kolloqium an der TH Karlsruhe
Teilnehmer: Armin Schnettler, Michael Keßler, Junliang Wu

24.05.08
Marathonlauf in Mannheim
Teilnehmer: Armin Schnettler, Christian Hille, Kittipong Anantavanich, Pavadee Pachariyanon, Rattanakorn Phadungthin, Tirinya Cheumchit, Ming Chark Tang, Matthias Hoffacker, Martin Scheufen, Martin Splettstößer, Christoph Kahlen, Andreas Kurz, Bernhard Schowe-von der Brelie, Peter Wittlinger, Daniel Eichhoff, Daniel Winkel, Matthias Dingeldein

Die Teilnehmer des Marathonlaufs

01.06.08
Erster Arbeitstag von Anja Strauchs und Christoph Roggendorf

07.06. - 17.06.08
Teilnahme am ISEI (International Symposium on Electrical Insulation) 2008 in Vancouver, Canada Michael Keßler und Christoph Roggendorf

11.06.08
Doktorprüfung von Thorsten Borchard: „Bewertung des Nutzens einer spannungsübergreifenden Planung von Hoch- und Mittelspannungsnetzen“ an der RWTH Aachen
Korreferent: Gerhard Pietsch

12.06. - 13.06.08
FGH-Fachtagung „IEC 61850 in der Praxis: Anwendung, Erfahrungen, Ausblick“
Sitzungsleitung: Armin Schnettler

24.06.08
Auswahlsitzung zum DAAD-Sonderprogramm Akademischer Aufbau Südosteuropa in Bonn-Bad Godesberg
Teilnehmer: Gerhard Pietsch

18.07.08
Workshop Plug-in Hybrid Electric Vehicles in Köln
Teilnehmer: Thomas Smolka

01.08.08
Erster Arbeitstag von Viktor Bernhardt und Thomas Pollok

15.08. - 17.08.08
Segelwochenende am Veerse Meer (Niederlande)

24.08. - 29.08.08
Cigré-Konferenz 2008 in Paris, Frankreich
Teilnehmer: Armin Schnettler, Stefan Federlein, Thomas Smolka, Gerhard Pietsch

05.09.08
Betriebsausflug nach Maastricht

06.09. - 12.09.08
17th International Conference on Gas Discharges and their Applications, Cardiff University, Großbritannien Teilnehmer: Gerhard Pietsch, Kittipong Anantavanich, Christoph Kahlen, Ming Tang

16.09. - 18.09.08
ETG-Fachtagung „Grenzflächen in elektrischen Isoliersystemen“ in Würzburg
Teilnehmer: Andrey Mashkin, Gregor Schütte, Anja Strauchs, Junliang Wu

17.09.08
Besuch von Dr. Urai aus Japan
Teilnehmer: Christoph Kahlen, Thomas Smolka und Armin Schnettler

26.09. - 01.10.08
Besuch der Thai German Graduate School (TGGS), Bangkok, Thailand
Armin Schnettler

30.09.08
International Workshop on High Energy Electric (Arcing) Faults (HEAF) in Grainau
Teilnehmer: Gerhard Pietsch

01.10.08
Erster Arbeitstag von Martin Scheufen

07.10. - 09.10.08
ETP SmartGrids Konferenz in Brüssel
Teilnehmer: Thomas Pollok und Bernhard Schowe von der Brelie

26.10. - 29.10.08
DAAD-Auswahlsitzung für Lomonossov-Stipendiaten aus Russland in Moskau
Teilnehmer: Gerhard Pietsch

31.10.08
Letzter Arbeitstag von Rattanakorn Phadungthin

01.11.08
Erster Arbeitstag von Bernd Seiler

03.11. - 05.11.08
VDE Kongress in München
Teilnehmer: Matthias Hoffacker, Stefan Federlein, Christian Hille, Anja Strauchs, Uwe Macharey, Thomas Smolka und Armin Schnettler

12.11.08
Besuch einer Delegation von Hochschuladministratoren aus Armenien, Belarus, Russland und Ukraine
Teilnehmer: Gerhard Pietsch

13.11. - 14.11.08
6. Forum Wärmepumpe in Berlin
Teilnehmer: Thomas Dederichs

14.11.08
Industrievortrag von Herrn Rhode, Maschinenfabrik Rheinhausen

15.11.08
Gründungsversammlung der „Hochspannungstechnischen Gesellschaft an der RWTH Aachen“ (HTG)

HTG-Gründungsmitglieder (nicht vollzählig)

15.11.08
„32. Hochwissenschaftliche Kolloquium“ am IFHT mit Verleihung des Preises „Mann mit der ruhigen Kugel“ an Christian Hille

18.11.08
Erster Arbeitstag von Martin Splettstößer

19.11.08
CIGRÉ-Veranstaltung „Europäische Netze im Wandel“ in Heidelberg
Teilnehmer: Armin Schnettler und Stefan

Federlein

25.11. - 26.11.2008
Nationale Strategiekonferenz „Elektromobilität“ in Berlin
Teilnehmer: Armin Schnettler, Thomas Smolka und Thomas Pollok

26.11.08
Aussprache des CIGRÉ DAK 3 an der TU Darmstadt
Teilnehmer: Gerhard Pietsch

28.11.08
Tag der Elektrotechnik an der RWTH Aachen

01.12.08
Auswahlsitzung zum DAAD-Sonderprogramm Akademischer Neuaufbau Südosteuropa in Bonn-Bad Godesberg
Teilnehmer: Gerhard Pietsch

08.12.08
Promotion von Junliang Wu zum Thema „Fremdschichtverhalten nanostrukturierter superhydrophober Isolierstoffoberflächen unter simultanen elektrischen und klimatischen Beanspruchungen“ an der RWTH Aachen
Referent: Armin Schnettler

09.12.08
Promotion von Thomas Smolka zum Thema „Ökologisch, technische Auswirkungen dezentraler Energieversorgungsszenarien mit Blockheizkraftwerken in elektrischen Verteilungsnetzen“ an der RWTH Aachen
Referent: Armin Schnettler

10.12.08
Industrievortrag von Dr. Zander, BET (Büro für Energiewirtschaft und technische Planung), „Netzanschluss neuer Großkraftwerke - Technisch-wirtschaftliche Zusammenarbeit“

15.12. - 19.12.08
Fact Finding Mission Kosovo des DAAD zur Situation der Hochschulen im Kosovo in Prishtina und Microvica
Teilnehmer: Gerhard Pietsch

22.12.08
Institutsversammlung und Weihnachtsfeier

31.12.08
Letzter Arbeitstag von Junliang Wu, Piotr Margiel und Uwe Macharey

Veröffentlichungen / Publications

Thomas Smolka, Karl-Heinz Weck, Mathias Bartsch, Armin Schnettler
Netzanschluss von Windenergieanlagen
eBWK Bd. 60(2008), Nr. 4

Junliang Wu, Armin Schnettler
Degradation Assessment of Nanostructured Superhydrophobic Insulating Surfaces Using Multi-stress Methods
IEEE, Vol. 15, No.1, February 2008

Stefan Federlein, Christian Hille, Claus Neumann, Joachim Schneider, Armin Schnettler
Einflussfaktoren auf das Schadens- und Störungsverhalten von 123 kV Leistungsschaltern
Energiewirtschaft, ew Jg. 107, Heft 4, Frankfurt (Main) 2008

Michael Kessler, Alexander Tröger, Bernhard Heil, Armin Schnettler
Investigation of the electrical properties of elastic syntactic foam
ISEI, Vancouver (Canada) 2008

Claus Neumann, Gerd Balzer, Stefan Federlein, Bartosz Rusek, Joachim Schneider, Armin Schnettler, Christian Schorn, Uwe Zickler
Strategy for End of Life Assessment for High Voltage Circuit Breakers
CIGRE Session, A3-101, Paris (France) 2008

Samer El Oukaili, Stefan Federlein, Michael Schwan
Investigation into the Correlation of Component Failure Rates to System Supply Availability in Asset Management Methods
PSCC 16th Power Systems Computation Conference, Glasgow (Schottland) 2008

Andrea Schröder, Thomas Dreyer, Bernhard Schowe-von der Brelie, Armin Schnettler
Intelligent Self-Describing Power Grids
CIRED Seminar, Smart Grids for Distribution, Paper 75, Frankfurt am Main 2008

Anja Strauchs, Andrey Mashkin, Armin Schnettler, Alexander Tröger
Mechanische Untersuchungen zum Vergleich der Haftung an inneren Grenzflächen in syntaktischem Schaum
ETG-Fachbericht, Beitragsband zur ETG-Fachtagung ”Grenzflächen in elektrischen Isoliersystemen”, Würzburg, 16-17. September 2008

Junliang Wu, Armin Schnettler
Interfacial aging phenomena of superhydrophobic composite insulating surfaces under electrical and non-electrical stresses
ETG-Fachbericht, Beitragsband zur ETG-Fachtagung ”Grenzflächen in elektrischen Isoliersystemen”, Würzburg, 16-17. September 2008

Armin Schnettler
Verteilungsnetze der Zukunft - Anforderungen, Lösungsansätze und Systemdienstleistungen
Internationaler VDE Kongress, Beitrag, München 2008

Gregor Schütte, Torsten Wirz, Armin Schnettler
Temperaturmessung mittels Ultraschall unter Ausnutzung des temperaturabhängigen Reflexionsverhaltens an Grenzflächen in polymeren Isoliersystemen
ETG-Fachbericht, Beitragsband zur ETG-Fachtagung ”Grenzflächen in elektrischen Isoliersystemen”, Würzburg, 16-17. September 2008

Stefan Federlein, Christian Hille, Armin Gaul, Armin Schnettler
Prognose des Störungsaufkommens eines 123 kV Leistungsschalters bei längeren Wartungszyklen
Internationaler VDE-Kongress, ETG-P1, München 2008

Michael Schmale, Gerhard J. Pietsch
Influence of buffer volumes on pressure rise in switchgear installations due to internal arcing
Proc. XVIIth Int. Conf. on Gas Discharges and their Appl., Cardiff, UK, pp. 201 - 204, 7-12 September 2008

A. B. Wahle, Gerhard J. Pietsch
Effect of energy absorption systems on internal arc testing of medium voltage switchgear
Proc. XVIIth Int. Conf. on Gas Discharges and their Appl., Cardiff, UK, pp. 193 - 196, 7-12 September 2008

Mikimasa Iwata, Kittipong Anantavanich, Gerhard J. Pietsch
Influence of arc current on fraction kp of electric arc energy leading to pressure rise in a closed container
Proc. XVIIth Int. Conf. on Gas Discharges and their Appl., Cardiff, UK, pp. 189 - 192, 7-12 September 2008

Kittipong Anantavanich, Gerhard J. Pietsch
Calculation of overpressure in the surroundings of fault arcs in SF6-air mixtures
Proc. XVIIth Int. Conf. on Gas Discharges and their Appl., Cardiff, UK, pp. 165 - 168, 7-12 September 2008

René P. P. Smeets, J. Hooijmans, Nenad Uzelac, P. Milovac, D. Kennedy, Gerhard J. Pietsch, Kittipong Anantavanich
Internal Arc Testing of Medium Voltage Switchgear
CEPSI 2008 (17th Conf. Electric Power Supply Industry), Macau (China) 27-31 Oct. 2008

Mikimasa Iwata, Kittipong Anantavanich, Gerhard J. Pietsch
Calculation of pressure rise due to high current internal arcing in a closed container
The 2008 Annual Meeting Record I.E.E., Fukuoka (Japan), p. 292 (2008)

Mikimasa Iwata, Kittipong Anantavanich, Gerhard J. Pietsch
Calculation of pressure rise due to high current fault arc in a closed container
The Institute of Electrical Engineers of Japan, The Papers of Joint Technical Meeting on Electrical Discharges, Static Apparatus and Switching and Protecting Engineering, ED-08-65, SA-08-03, SP-08-4, Kanazawa (Japan), pp. 17 - 21(2008)

R. Smeets, J. Hooijmans, H. Bannink, H. Barts, P. Leufkens, N. Uzelac, P. Milovac, D. Kennedy, Gerhard J. Pietsch, Kittipong Anantavanich
Internal Arcing: Issues Related to Testing and Standardization
CIGRE Session, Paper A3-207, Paris (France) 2008

Xiang Zhang, Jiaosuo Zhang, Gerhard J. Pietsch
Calculation of the Three-Phase Internal Fault Currents in Medium-Voltage Electrical Installations
IEEE Trans. Power Del. 23, 2008, pp. 1685-6

Hans-Gerd Kranz, Klaus Dreisbusch und Armin Schnettler
Determination of a Failure Probability Prognosis based on PD-Diagnostics in GIS
IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 15, Issue 6, pp. 1707-1714, December 2008

Postersession

FGH - RWTH Aachen, IFHT - Labein tecnalia poster_eth_S-TEN_final
Innovative ICT-architecture for quasi-autarkic energy nodes in smart electrical distribution networks
S-TEN project by European Commission, SmartEnergyStrategies, Zürich 2008

T. Dederichs, T. Smolka, M. Kurrat, M. Pielke
Zukünftige Strom- und Wärmeversorgung in Haushalten und Gewerbe
Tagungsband VDE Kongress 2008, VDE Verlag GmbH

Betriebsausflug nach Maastricht am 05. September 2008

Der Betriebsausflug 2008 führte die Belegschaft des IFHT über die Grenze in die nahegelegene niederländische Stadt Maastricht. Hier lernten die Teilnehmer vormittags die historische Altstadt und ihre Geschichte kennen. Nach einer kurzen Schifffahrt und einem Mittagessen ging es hinab in Jahrhunderte alte Gänge unter dem St. Pietersberg, in denen früher Mergel-Gestein abgebaut wurde. Abgeschlossen wurde der Tag mit dem traditionellen Grillen bei Familie Schnettler.

Historische Stadtführung

Pünktlich um 8:00 Uhr brach die Belegschaft des Instituts mit dem Bus Richtung Maastricht auf. Dort angekommen wurden wir von zwei Mitarbeiterinnen des Maastrichter Fremdenverkehrsvereins (VVV) empfangen, die uns auf einer historischen Führung die Stadt und ihre historischen Wurzeln näher brachten. An den drei verschiedenen Stadtmauern entlang, welche das historische Wachstum Maastrichts veranschaulichen, führte unser Weg in die Altstadt mit ihren engen Gassen und Plätzen. Dort erfuhren wir Wissenswertes über die Region und lauschten verschiedenen Anekdoten. Abschließend stärkte man sich, den Blick auf den ”Vrijthof” genießend, mit heißen und kalten Getränken bevor der nächste Programmpunkt begann.

Vom Schiff in den Berg

Ein Ausflugsschiff der Reederei Stiphout transportierte die Teilnehmer gemütlich auf der Maas. Ziel war der St. Pietersberg im Süden der Stadt. Vom Schiffsanleger führte uns ein kurzer, aber steiler Fußmarsch zum hochgelegenen Restaurant Slavante, wo uns bereits ein Mittagessen erwartete.

Abb. 1: Die Teilnehmer des Betriebsausflugs

Nach dem Genuß des Essens führte uns der Weg hinab in den Berg hinein. Über Jahrhunderte hinweg hatten die Menschen das hier vorhandene Mergel-Gestein abgebaut und ein Labyrinth von Gängen hinterlassen, von dem heute noch immer über 80km begehbar sind. Unter Leitung einer Führerin wagten wir uns - lediglich mit drei Petroleumlampen und einer defekten Taschenlampe ausgerüstet - in die Dunkelheit. Bei einer Temperatur von nur 11°C und hoher Luftfeuchtigkeit legten wir etliche Meter durch die kahlen Felsentunnel zurück. Dutzende, zum Teil aus dem 13. Jahrhundert stammende Inschriften zeugten von der Geschichte dieser Abbaugebiete, die im 2. Weltkrieg als Notunterkünfte für die Maastrichter Bevölkerung hergerichtet wurden. Die aus dieser Zeit stammenden Bäckereiöfen und Wassertanks waren ebenfalls Teil der Führung. Besonders spannend wurde es, als die Teilnehmer sich allein und in völliger Finsternis orientieren mussten. Es galt, sich nur mit Hilfe des Tastsinnes einen schmalen Gang entlang zu bewegen, ohne dabei mit dem Kopf anzustoßen. Diese Herausforderung wurde von allen souverän gemeistert. Nachdem wir wieder unter freiem Himmel waren, ging es per Schiff zurück nach Maastricht und von dort weiter nach Aachen.

Ausklang bei Familie Schnettler

Um den Tag ausklingen zu lassen, lud Prof. Schnettler alle Institutsangehörigen zum traditionellen Grillen in seinen Garten ein. Die meisten Mitarbeiter folgten dieser Einladung gerne und trugen mit eigenen Grillbeilagen zum reichhaltigen Grillbuffet bei. Die gute Stimmung konnte auch nicht durch das schlechte Wetter, welches am späten Nachmittag aufgezogen war und die Gruppe zu einem Umzug vom Garten in den Keller des Hauses zwang, getrübt werden. So stellte dieser Abend einen gelungenen, feucht-fröhlichen Abschluss des Tages dar.

Organisation

Dipl.-Ing. Matthias Hoffacker
hoffacker@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94944

Pfingstexkursion in die Schweiz

Die traditionelle Exkursion des IFHT führte in diesem Jahr in die Schweiz und nach Stuttgart. Wie üblich starteten die Teilnehmer (in diesem Jahr aus 10 Nationen: 38 Studenten, 8 Assistenten und Prof. Schnettler) am Pfingstmontag, der in diesem Jahr auf den 12.05.2008 fiel. Die Reise führte zunächst in die Schweiz, wo die Haefely Test AG in Basel sowie die Firma ABB mit ihren Standorten rund um Zürich auf dem Programm standen. Die letzte Nacht verbrachte die Gruppe in Stuttgart und besuchte dort die Daimler AG und ein modernes Steinkohlekraftwerk der EnBW.

Anreise

Am Montagmorgen um 9:30 Uhr brach die 47-köpfige Reisegruppe im modernen Reisebus in Richtung des etwa 540 km entfernten Basel auf. Dort trafen wir am Nachmittag ein und bezogen unser Quartier in der Jugendherberge Basel-City. Etwa die Hälfte der Teilnehmer folgte danach der Einladung von Prof. Schnettler zum Lauftraining. Den Abend verbrachten die Teilnehmer in kleinen Gruppen und erkundeten das hübsche Zentrum von Basel.

Basel

Am folgenden Vormittag besuchten wir die Haefely Test AG an ihrem Hauptstandort in der Lehenmattstraße in Basel. Nach einer herzlichen Begrüßung bot sich den Teilnehmern die Möglichkeit, mehr über die Firma Haefely wie auch über die dort entwickelte Prüftechnik zu erfahren. Auf interessante Vorträge folgte ein reichhaltiges Frühstücksbuffet, welches sich gutem Zuspruch erfreute. Gut gestärkt konnten anschließend in kleinen Gruppen unterschiedliche Bereiche des Unternehmes besichtigt werden. Vor allem die Hochspannungshalle, in der gerade mittels eines Marx-Generators eine abgeschnittene Blitz-Stoßspannung von 2MV erzeugt wurde, beeindruckte zahlreiche Studenten. Am frühen Nachmittag brachen wir dann in Richtung Zürich auf.

Abb. 1: Abschneidefunkenstrecke in der Hochspannungshalle der Haefely Test AG

Zürich

Noch vor dem Einchecken in die Jugendherberge Zürich stand ein Besuch bei der ABB Schweiz AG auf dem Programm. Im Hauptsitz in Oerlikon wurden wir von Herrn Besold, dem Marketingleiter, willkommen geheißen. Ein Vortrag über die Geschichte von ABB, welcher von Prof. Schnettler teilweise mitmoderiert wurde, bildete die Grundlage zur anschließen-

den Betriebsbesichtigung. Ein Rundgang durch die Fertigungshallen der Gasisolierten Schaltanlagen (GIS) brachte den Studierenden in der Vorlesung theoretisch vermitteltes Wissen zum Anfassen nah. Den Abschluß des Besuches bildete ein gelungenes Grillfest mit Mitarbeitern des Standortes zu welchem sich auch Herr Dr. Schumacher sowie die Vorsitzende der Geschäftsleitung, Frau Staiblin, hinzugesellten. Der Abend wurde dann zumeist in kleinen Gruppen in der Züricher Innenstadt rund um die Limmat oder den Zürichsee verbracht.
Am folgenden Vormittag brachte uns unser Busfahrer Dirk in das nahegelegene Örtchen Baden-Dättwil, welches das Forschungszentrum ABB Corporate Research beherbergt. Hier konnten den Teilnehmern bei Vorträgen und Rundgängen anschaulich die Methoden der Grundlagenforschung eines Großkonzern vorgestellt werden. Die Mitarbeiter beantworteten dabei auch die vielen fachlichen Fragen der Studierenden. So fand z.B. die Entwicklung eines thermischen Energiespeichers reges Interesse. Nach einem Mittagessen in einem eigens vorbereiteten Bereich der Kantine ging es weiter zu den Prüffeldern der ABB in Baden. Auf die einleitende Begrüßung von Herrn Dr. Claessens folgten Kleingruppenführungen durch sämtliche Bereiche des Areals. Vor allem die große Anzahl Kondensatoren, sowie die Weitläufigkeit der Prüfkreise beeindruckten sehr. Auf Einladung von Herrn Claessens fuhr die Gruppe anschließend zu einem gemeinsamen Abendessen an die Limmat. Dies bildete einen gelungenen Abschluß der Zeit in Zürich, denn am nächsten Tag führte die Tour nach Stuttgart.

Stuttgart

Auf dem Weg dorthin gab es jedoch zunächst einen Zwischenstop bei der Daimler AG in Sindelfingen.

Abb. 2: Ein ”Erlkönig” im Daimler-Museum

Dort wurden wir von Sascha Schulte (Doktorand am IFHT) freundlichst empfangen. Ein eigens bestellter Fotograf lichtete die gesamte Gruppe vor einem ansehnlichen Fuhrpark aus Limousinen und Sportwagen ab. Danach bildeten Vorträge zur Daimler AG sowie aktuellen Entwicklungen zu Fahrzeugen mit Brennstoffzellen eine gute Grundlage für Diskussionen bei dem darauf folgenden Mittagessen mit regionalen Spezialitäten. Nachmittags standen dann Rundgänge durch verschiedene Labore auf dem Programm. Besonders die Forschung unter Einbezug virtueller Realität war bemerkenswert. Weiter ging es mit einer kurzen Busfahrt zum Mercedes-Benz Museum in Stuttgart.

Abb. 3: Gemütliches Abschlussessen

Abb. 4: Die Teilnehmer der Pfingstexkursion

Hier gab es die Möglichkeit Fahrzeuge aller Altersklassen sowie ehemalige Erlkönige zu besichtigen. Nach dem Check-In in die Jugendherberge und einem weiteren kurzen Marathontraining lud Prof. Schnettler traditionell zum Abschlußessen in ein Restaurant ein. Der Applaus der Teilnehmer als Folge einer Rede seinerseits verdeutlichte, dass es wieder einmal eine gelungene Pfingstexkursion war. Das Abendessen bildete aber noch nicht ganz den Abschluß der Fahrt, denn am letzten Tag stand noch der Besuch bei einem Steinkohlekraftwerk der EnBW in Altbach auf dem Programm. Der moderne Bau verfügt zu Freude der Anwohner über einen nur gering rauchenden Hybridkühlturm. Nach dem obligatorischen Maultaschenessen traten wir dann den Rückweg nach Aachen an. Bei kühlen Getränken ließen wir die schöne Exkursionsswoche im Bus noch einmal Revue passieren und genossen die Fahrt bei angeregten Diskussionen. Gegen 19 Uhr erreichten wir das Institut, wo Angehörige schon sehnsüchtig auf einige der Teilnehmer warteten.

Abb. 5: Maschinentransformator des Kraftwerks Altbach

Organisation

Dipl.-Ing. Christian Hille
hille@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94915

Dipl.-Ing. Matthias Hoffacker
hoffacker@ifht.rwth-aachen.de
+49 241 80-94944

Gründung der „Hochspannungstechnischen Gesellschaft an der RWTH Aachen“ (HTG)

Am 15. November 2008 war es soweit: im Seminarraum des Instituts für Hochspannungstechnik der RWTH Aachen wurde auf Initiative von ehemaligen wissenschaftlichen Mitarbeitern des IFHT der Förder- und Ehemaligenverein HTG gegründet! Zweck des gemeinnützigen Vereins, der nach Eintragung in das Vereinsregister den Zusatz „e.V.“ trägt, ist die Förderung der wissenschaftlichen Forschung, von Veranstaltungen und Arbeiten am Institut für Hochspannungstechnik. Natürlich steht auch die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses am IFHT, z.B. durch Vergaben von Stipendien oder Preisen, im Vordergrund dieser noch exklusiven Gesellschaft, der durch Zeichnung der Satzung durch 25 Gründungsmitglieder Leben eingehaucht wurde.

In familiärer Atmosphäre wurden die Gründungsformalitäten durch die Hauptinitiatoren Dr. Cornelissen und Dr. Walter, den ersten Vereinsvorständen, souverän vorgetragen und erfolgreich abgeschlossen. Bereits in der Gründungsstunde wurden die Satzung und die weitere Vorgehensweise intensiv diskutiert - ein Beleg für das hohe Engagement der Ehemaligen und eine hervorragende Grundlage für das weitere Vereinswachstum. Der Vorstand wird sich engagiert den Zielen widmen und freut sich auf eine intensive Zusammenarbeit mit den Mitgliedern, dem IFHT und weiteren Partnern und Freunden.

Für noch Unentschlossene:

Mit dem Ziel, den Kreis der HTG-Mitglieder möglichst schnell zu erweitern, werden wir uns bei dem Ehemaligentreffen des IFHT am 15./16. Mai 2009 bemühen, genügend Argumente für einen schnellen Beitritt zu liefern.

Für Interessierte, die nicht aus dem Kreis der Ehemaligen entstammen (z.B. Industriepartner):

Für die Startphase hat sich die HTG eine Beschränkung auf Ehemalige auferlegt. Wir freuen uns dennoch auf anregende Diskussionen über den Kreis der Ehemaligen hinaus und planen, zu einem späteren Zeitpunkt eine Erweiterung des Mitgliederspektrums zu diskutieren.

Weitere Informationen entnehmen Sie bitte der Homepage www.htg-aachen.de.

Abb. 1: In feierlich-unkomplizierter Umgebung: „Unterzeichnung der Gründungssatzung“

Das 32. Hochwissenschaftliche Kolloquium

Am 11.11. um 11:11 Uhr begann es. Traditionsgemäß versammelten sich die Mitarbeiter des IFHT zur Wahl des hektischen Kollegens bzw. der hektischen Kollegin im Seminarraum. Bekanntgegeben wurde das Ergebnis dieser Abstimmung am 15.11. gegen 22:00 Uhr. Bis dahin war der Abend sehr entspannend für mich.....

Heute morgen erreichte mich dann nach dem Hochfahren meines Computers folgende Email:
„Hi Hektiker, ich will dich nicht ärgern, aber weisst du, dass der Hektiker 1-2 Seiten zum Jahresbericht beisteuert? Sorry :) TD“.
Gesendet: So. 30.11.2008 um 18:21 Uhr.
Sonntag Abend? Wer ist hier hektisch Herr Dederichs? Zumindest hat mich diese Email wieder daran erinnert, dass wir hier wohl niemals zu wenig Arbeit auf dem Schreibtisch liegen haben werden und daran, dass am 15.11. etwas geschehen war, was zu tagelangem Gläserspülen und der Aufgabe, diesen Artikel zu schreiben, geführt hat.

15. November 2008 - Ein Rückblick

Um 18:33 Uhr versammelten sich ehemalige wie auch aktuelle Institutsangehörige und Freunde der Hochspannungstechnik im Hörsaal EPH des Rogowski-Gebäudes. Das „Hochwissenschaftliche Kolloquium“ stand diesmal unter dem Motto „Le Tour de Hektik“. Eingeschworene Kenner der französischen Sprache hätten bei diesem Titel evtl. die Verwendung eines Apostrophs empfohlen, aber wie es auch bei wissenschaftlichen Artikeln üblich ist gilt hier: Der Inhalt zählt. Der Inhalt stimmte dann auch.
Der nun im Ruhestand weilende Hektiker des Vorjahres - Ming Tang - begrüßte pünktlich um 18:77 Uhr alle Anwesenden und besonders die vier angetretenen Teams. Der offizielle Start zur Tour wurde genau 11 Minuten später von Prof. Schnettler eingeleitet, welcher mangelnde Promotionstätigkeit auf zu wenig Urlaub seinerseits zurückführte. Diese Herausstellung hektischen Daseins erhielt auch den verdienten Applaus und die Tour ging mit dem ehemaligen Hektiker selbst in die erste Etappe, in welcher er den Gästen das Institut vorstellte. Während dieser Strecke bot zudem Matthias Hoffacker spontan an, alle Gäste mit live hergestellten Muffins zu erfreuen.

Abb. 1: Herstellung von Muffins

Die nachfolgenden beiden Etappen wurden von den Teams „Nachhaltigkeit“ und „Anlagentechnik“ bestritten. Die bemerkenswerte Agilität vom Zeitfahrer Roggendorf verlief hierbei leider nicht proportional zur Festikgeit des Equipments. Dieser in der Anlagentechnik bekannte Verschleißausfall, charakterisiert durch eine exponentiell steigende Ausfallrate, war den ökologischen Herren bei der Beurteilung der Life-Cycle-Costs zur Anschaffung des Materials wohl nicht aufgefallen.
Nach einer 30-minütigen Pause hatten die Teams „Leistungsschalter“ und „Isodia“ die Chance, ihr Können zu zeigen. Dies wurde auch sehr eindrucksvoll umgesetzt. Eine dabei entstandene multimediale „Kurz“-Geschichte wird wohl den Lesern dieses

Artikels in Kürze über ein bekanntes Internetprotal (zu deutsch: DuRöhre) zur Ansicht freigegeben.

Abb. 2: Team Isodia

Zusätzlich wurde den Institutsangehörigen ein neues Gesellschaftsspiel vorgestellt, welches an Schach angelehnt ist. Ziel ist wohl eine Aufteilung der Spielfiguren auf möglichst viele, weit entfernte Räume.
Den Zieleinlauf moderierte Ming Tang erneut gekonnt und leitete den Endspurt mit passender akustischer Untermahlung ein. Auf der Zielgeraden lagen noch Chrisoph Roggendorf und Andreas Kurz mit mir gleichauf und ich fühlte mich relativ sicher, durch ein Bremsmanöver dem Titel entgehen zu können. Umso überraschter war ich, dass dies wohl eher meinen „Kontrahenten“ gelungen war und ich den „Mann mit der ruhigen Kugel“ unverdienterweise entgegen nehmen konnte. Der dabei eingetretene Schockzustand ist bisher noch nicht ganz gewichen, lässt aber bereits einen herzlichen Dank an Ming Tang für die hervorragende Organisation des Abends zu. Dieser Dank gilt auch allen weiteren Gratulantinnen und Gratulanten. Viele sind noch zu einem gelungenen Abschlussessen im Seminarraum verblieben und haben mir bis in den Morgen hinein mit guter Laune über den Schock hinweg geholfen.

Abb. 3: Überreichen der Statue

Autor: Christian Hille