



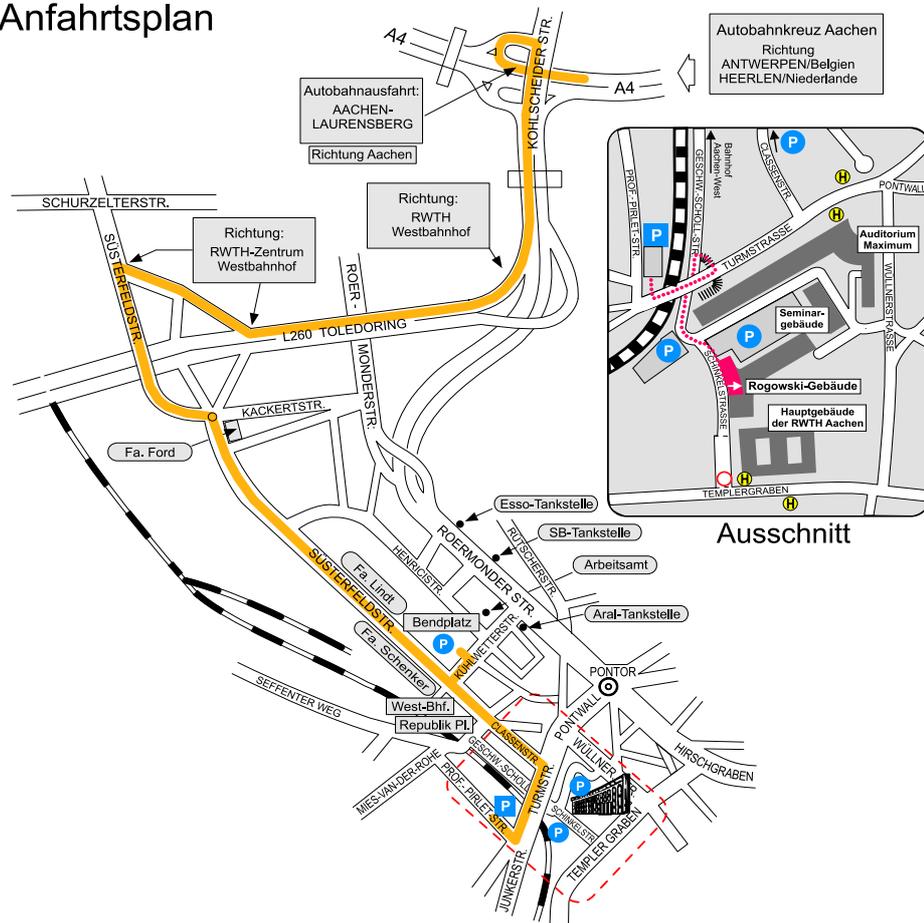
Jahresbericht

2004

*Institut für Hochspannungstechnik
Schinkelstraße 2
52056 Aachen*

*Telefon: ++49/(0)241/80-94931
Fax: ++49/(0)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. Michael Schmale
Redaktionsschluß: 20.01.2005*

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Forschung am ifht

Berichte aus der laufenden Forschung

Forschungsgebiete	12
Untersuchungen zum Abbrandverhalten von Isolierstoffdüsen in SF ₆ -Selbstblas-Schaltern	18
Simulation von SF ₆ Selbstblassehaltern	24
CFD-Simulation von SF ₆ -Leistungsschaltern	28
Untersuchungen zum Verhalten des Konditionierungslichtbogens von Vakuumschaltkontakten	32
Untersuchung der elektrischen Eigenschaften von Isoliermaterialien mit Schaumstruktur	36
Automatisierte Ultraschalldiagnostik zur Zustandsbewertung elektrischer Betriebsmittel	40
Orientierende Untersuchungen zum Überschlagverhalten von mit Nanopartikeln beschichteten Isolierstoffoberflächen	46
Einsatz dezentraler Stromerzeugungstechniken in elektrischen Verteilungsnetzen unter ökologischen Rahmenbedingungen	50
Entwicklung eines Simulationstools zur Berechnung der Wirkung von Stromkräften in Mittelspannungsschaltanlagen	58
Ozonerzeugung mit koplanaren Barrierenentladungsanordnungen	62
Untersuchung von Druckentlastungseinrichtungen in elektrischen Anlagen im Störlichtbogenfall	66

Externe Forschungsarbeiten

Basisuntersuchungen zum Abschaltvermögen von Generatorleistungsschaltern	70
Asset-Management in Verteilnetzen auf der Basis neuer Kenntnisse über Komponentenzuverlässigkeit und Kosten im Schadenfall	74

Diplom-, Master- und Studienarbeiten - 2004 abgeschlossen

Veröffentlichungen	81
--------------------------	----

Lehre am ifht

Vorlesungen und Praktika	84
--------------------------------	----

Das Institut

Chronik	84
VDE Seminar	102
Aktivitäten 2004	104
Exkursionen	108
Mitarbeiter 2004	114

Contents

Preface

Research at ifht

Scientific Reports

Fields of Research	15
Investigation of Nozzle Ablation in SF ₆ Self-Blast Circuit Breaker	21
Simulation of SF ₆ -Selfblast Circuit Breakers	26
CFD-Simulation of SF ₆ -Circuit Breakers	30
Investigations on the Conditioning-Arc of Vacuum Circuit Breaker Contacts	34
Investigation on Electrical Properties of Isolating Materials with a Foam-Like Structure	38
Automated Ultrasonic Diagnostics for Condition Assessment of Electrical Devices	43
Basic Investigations on the Flashover Performance of Insulation Surfaces Coated with Nano-Particles	48
Life Cycle Assessment of Distributed Generation in Distribution Systems	54
Development of a Simulation Tool to Calculate the Effect of Current Forces in Middle Voltage Switchgear	60
Ozone Generation with Coplanar Barrier Discharges	64
Investigations on Pressure Relief Equipment of Electrical Installations in the Case of Fault Arcs	68

External Scientific Reports

Basic investigations on generator circuit breakers interruption capability	72
Asset Management in Distribution Systems Considering New Knowledge on Component Reliability and Costs in Case of Damage	76

Diploma- and Project Theses 2004

Publications	81
--------------------	----

Teaching at ifht

Lectures and Laboratories	84
---------------------------------	----

The Institute

Chronicle	96
VDE Seminar	102
Activities 2004	104
Technical Excursions	108
Staff 2004	114

Sehr geehrte Freunde des Instituts für Hochspannungstechnik,

mit dem Jahresbericht 2004 berichten wir in gewohnter Form über unsere Aktivitäten in Forschung & Entwicklung, Lehre und Institutsleben.

Das Interesse an der Energietechnik und speziell unseren Themengebieten hat sich auch im Jahr 2004 sehr positiv entwickelt. Dieses dokumentiert sich bei uns durch eine stark steigende Nachfrage an den Vorlesungen, an Studien-, Diplom- und Masterarbeiten und auch Forschungsarbeiten, die bei einigen unserer Forschungsthemen bereits die Kapazitätsgrenze überschreitet. Sehr erfreulich sind auch die kontinuierlich steigenden Anfragen aus der Industrie in Bezug auf Kooperationsmöglichkeiten und Absolventen, die sich in einem stark gestiegenen Drittmittelvolumen widerspiegeln. Mit dem Ziel, den Kontakt zwischen uns, den Studierenden und der Industrie durch eine stärker vermittelnde Rolle unseres Institutes zu intensivieren, werden wir eine Art "Kontaktbörse" einrichten, die die stetig steigenden Nachfragen unserer Studierenden nach attraktiven Praktikantenplätzen im In- und Ausland (mit einer üblichen Mindestdauer von 18 Wochen; wird i. a. direkt vor der Diplomarbeit durchgeführt) befriedigen soll. Erste Gespräche mit Industriepartnern haben gezeigt, dass hieran starkes Interesse besteht.

Auch nach dem Diplomstudiengang Wirtschaftsingenieur, Schwerpunkt Elektrische Energietechnik, besteht große Nachfrage. Dieser im Wintersemester 2003/2004 erstmalig angebotene Studiengang hat – nach 45 Einschreibungen im ersten Jahr – im Wintersemester 2004/2005 über 90 neue Einschreibungen zu verzeichnen. Damit wurden unsere Erwartungen weit übertroffen, zumal auf Werbemaßnahmen verzichtet wurde.

Aufgrund dieser Entwicklungen und der deutlich gestiegenen wissenschaftlichen und studentischen Mitarbeiterzahl haben wir eine Gruppenstruktur eingeführt, die unsere Aktivitäten unter den Oberbegriffen

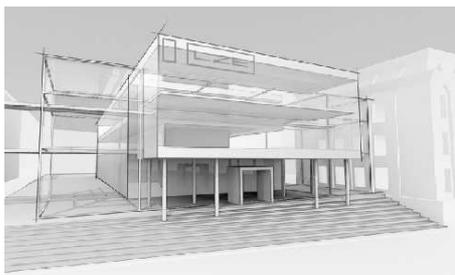
- *Forschungsgruppe "Anlagentechnik"*
- *Forschungsgruppe "Isoliersysteme und Diagnostik"*
- *Forschungsgruppe "Leistungsschalter"*
- *Forschungsgruppe "Nachhaltige Energieversorgung"*
- *Lehrgebiet "Gasentladungstechnik"*

bündelt.

Die derzeitigen Planungen sehen vor, dass wir durch personelle Verstärkungen weitere zukunftsweisende Themengebiete in unsere Arbeit aufnehmen werden.

Der steigenden Bedeutung der Energietechnik Rechnung tragend haben wir – gemeinsam mit den Fachkollegen unserer Fakultät – ein Vorhaben initiiert, mit dem konkreten Ziel, einen Neubau für ein Energietechnisches Zentrum in der Schinkelstraße direkt neben unserem Institut zu errichten. Mit der gleichzeitig verbundenen Konzentration aller RWTH-Institute der elektrischen Energietechnik in der Schinkelstraße wird damit ein Leistungszentrum für Energietechnik geschaffen, das mit über 200 vorgesehenen Mitarbeitern den Standort wesentlich bereichert und stärkt.

Die Finanzierung des Neubaus und der Ausstattung ist durch Drittmittel vorgesehen – erste Gespräche mit Sponsoren haben stattgefunden bzw. befinden sich in der Anlaufphase. Über die Inhalte und Fortschritte dieses Projektes werde ich Sie gerne weiter informieren.



Leistungszentrum für Energietechnik (Konzept Neubau)

Unsere wissenschaftlichen Leistungen haben im letzten Jahr eine hohe Beachtung erfahren. In vielen Publikationen, Vorträgen und auf nationalen wie internationalen Veranstaltungen konnten wir unsere Ergebnisse vorstellen, die auch verschiedene Preisträger hervorbrachten. Mein Vorgänger, Herr Prof. Klaus Möller, erhielt für seine Verdienste auf dem Gebiet der Leistungsschalterforschung den renommierten VDE-Ehrenring, der ihm im Rahmen des VDE-Kongresses 2004 in Berlin verliehen wurde. Auch unser Oberingenieur, Herr Dr.-Ing. Christian Cornelissen, wurde während des VDE-Kongresses ausgezeichnet. Er erhielt den VDE/ETG Award 2004. Im Dezember 2004 wurde Herr Dr. Cornelissen gleich mit zwei weiteren Preisen ausgezeichnet. Im Verlaufe des Tages der Elektrotechnik und Informationstechnik der RWTH Aachen überreichte ihm Herr Dr.-Ing. J. Kreusel den ABB-Dissertationspreis 2004. Bereits wenige Tage zuvor wurde Dr. Cornelissen für seine Forschungsarbeiten im Rahmen der jährlichen Stiftungsitzung die angesehene Werner-von-Siemens-Medaille der Werner-von-Siemens-Ring-Stiftung verliehen. Weiterhin erhielt Herr Dipl.-Ing. Philipp Walter den IEEE Best Diploma Thesis

Award 2004, einen sehr angesehenen Preis für das beste deutsche Diplom auf dem Gebiet der elektrischen Energietechnik. Auf unsere Preisträger sind wir außerordentlich stolz, gratulieren allen und wünschen weiterhin viel Erfolg bei ihren Tätigkeiten.

Auch die Zusammenarbeit mit der Forschungsgemeinschaft für elektrische Anlagen und Stromwirtschaft (FGH e. V.) gestaltet sich sehr erfolgreich. Mehrere gemeinsame Projekte sind in der Entwicklung bzw. Bearbeitung – national wie international. Es zeigt sich, dass die Kooperation für beide Seiten viele Vorteile bietet. Außerordentlich schwierig ist jedoch die Wiederbesetzung der Stelle des Abteilungsleiters "Anlagentechnik", die bisher durch Herrn Dr. Weck besetzt war. Leider konnte immer noch kein geeigneter Kandidat gefunden werden. Diese Schwierigkeiten zeigen auch auf, wie dünn die Personaldecke in der elektrischen Energietechnik mittlerweile ist. Für diese Position geeignete, promovierte Kandidaten finden auch in vielen anderen Bereichen und Unternehmen hervorragende Gestaltungsmöglichkeiten und Karrierechancen. Dennoch hoffen wir, bei der Besetzung in kurzer Zeit zu einem erfolgreichen Abschluss zu kommen.

Die Modernisierungs- und Renovierungsmaßnahmen schreiten weiter voran. Zwischenzeitlich konnten wir die neuen Seminar- und Computerarbeitsräume einweihen. Unser zentral gelegener Hörsaal befindet sich seit dem Herbst 2004 in einer umfangreichen Umbauphase und wird voraussichtlich, mit modernster Technik ausgestattet, ab April 2005 wieder zur Verfügung stehen. Auch in Zukunft werden wir verstärkt auf eine kontinuierliche Modernisierung und den Ausbau der Infrastruktur unseres Institutes achten. Es zeigt sich zwar, dass die vorhandene Bausubstanz durch stetige Verbesserungen durchaus akzeptable Rahmenbedingungen bietet, wir jedoch unsere Ausbaupläne nicht ohne eine signifi-

kante Erweiterung durch einen Neubau für das Leistungszentrum realisieren können. Bei unseren Maßnahmen und Ausbauplänen erfahren wir eine sehr gute Unterstützung durch die Bau- und Betriebsdirektion der RWTH Aachen und den Bau- und Liegenschaftsbetrieb NRW, bei denen wir uns an dieser Stelle wiederum herzlich bedanken.

Unsere Personalsituation hat sich im Jahr 2004 weiter gewandelt. Im Juni 2004 vollendete Herr Prof. Gerhard Pietsch sein 65. Lebensjahr und trat in den Ruhestand ein. Wenngleich wir auf dem Ehemaligentreffen im September 2004 seine Mitarbeit entsprechend gewürdigt haben und ihm offiziell zum Eintritt in den Ruhestand gratulierten, wird er uns erwartungsgemäß weiterhin mit Rat und Tat zur Seite stehen und aktiv die Arbeiten zur Gasentladungstechnik voranbringen. Die Herren Dr. Anatoli Saveliev, Lutz Hulka, Pinit Jitjing, Roberto Retana und Christian Schmitz haben ihren Arbeitskreis in die Industrie verlagert, um ihren Karriereweg fortzusetzen. Im administrativen Bereich haben uns Frau Renate Kessels, die über viele Jahre das Praktikantenamt der Fakultät verwaltet hat sowie Frau Beata Ruminska und Frau Joanne Beesley, die im Geschäftszimmer für einen reibungslosen Ablauf sorgten, verlassen. Für die stets hervorragende Zusammenarbeit danken wir allen Ehemaligen und wünschen ihnen alles Gute für den weiteren Lebensweg. Im wissenschaftlichen Mitarbeiterbereich haben wir uns durch Frau Eva Marie Linne (kurzzeitig) und die Herren Dr. Hideki Ueno, Danial und Christoph Kahlen verstärkt. Als neuen Auszubildenden in unserer Mechanischen Werkstatt begrüßen wir Herrn Manuel Lindner sowie Herrn Markus Breuers, der als Informatik-Praktikant arbeitet. Frau Doris Taufenbach-Schumacher hat die Verwaltung des Praktikantenamtes der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik übernommen, während

im Geschäftszimmer Frau Renate Bossetti ihre wichtigen Aufgaben aufgenommen hat. Auf die gute und erfolgreiche Zusammenarbeit mit den neuen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern freuen sich alle Hochspannungstechniker.

Für das Jahr 2005 erwarten wir eine weitere positive Entwicklung in unserer Forschung, in der Lehre und der Infrastruktur. Natürlich bedarf das Leben und Arbeiten am Institut einer stetigen Motivation und Gemeinschaftsprägung. Bei all den zu bewältigenden Herausforderungen werden wir Traditionen, wie z. B. den Hochspannerball am Karnevalssonntag oder die Verleihung des Pokales "Mann mit der ruhigen Kugel" weiterhin pflegen. Mit der erneuten Teilnahme einer größeren Läufer-/Skater-Gruppe, bestehend aus wissenschaftlichen und studentischen Teilnehmern des Institutes für Hochspannungstechnik am Mannheim-Marathon 2005 zeichnet sich eine neue Tradition ab, die auch eine sportliche Leistungsdemonstration darstellt. Abschließend gilt mein Dank für die erzielten Ergebnisse im Jahr 2004 allen Mitarbeitern, Freunden und Partnern, die uns durch ihre Arbeit und Anregungen sowie ideelle und besonders auch finanzielle Beiträge hervorragend unterstützt haben.

Ich darf Sie alle auffordern, gemeinsam mit uns die bevorstehenden Aufgaben aktiv anzugehen und zu einem positiven Abschluss zu bringen.

In diesem Sinne wünsche ich Ihnen ein erfolgreiches Jahr 2005!

Ihr



Aachen, im Januar 2005

Dear partners and friends!

This annual report 2004 shall inform you about all our activities in research & development, teaching and living & working at our institute.

The interest on power engineering topics in general and specifically on all areas of high voltage technologies has continuously improved during 2004. We have noticed a significant growing demand for our lectures, students research topics and diploma respectively master theses, partly exceeding the capacity limits of some of our fields of research. In addition we have a steady increase of industry requests for further co-operations and for graduates which can also be seen out of a strong increase of our third party funding. In order to improve the link between our industry partners, our institute and our students as well, we will set up some kind of a "contact office" which shall serve as a handling agent for our students to help them finding attractive and challenging internship places in Germany and abroad. These mandatory internships typically last at least 18 weeks and are usually started just before the students start their work on their diploma respectively master thesis. First discussions with some industrial partners showed a huge interest for such a contact office.

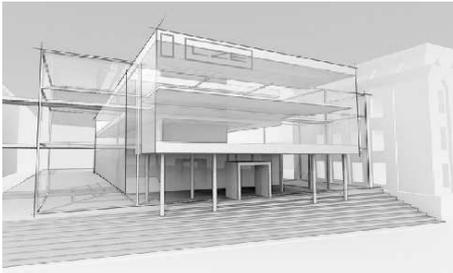
The diploma program "Wirtschaftsingenieur" (electrical power engineering in combination with commercial topics) has exceeded our expectations. Started in winter term 2003/2004 with 45 students, we noticed in winter term 2004/2005 more than 90 new students – this is particularly remarkable due to the fact that we abandoned any marketing action.

Based on these recent developments and the significantly increased number of staff and student workers respectively we implemented an updated organizational structure in research groups

- *Research group
"Systems Engineering"*
- *Research group
"Insulation Systems and Diagnosis"*
- *Research group
"Circuit Breakers"*
- *Research group
"Sustainable Power Systems"*
- *Field of Instruction and Research
"Gas Discharge Engineering"*

It is planned to further on extend our research areas by an increased number of scientist accordingly. With increased relevance and public interest of (electrical) power engineering we have, together with our power engineering colleagues of our faculty, initiated a demanding project to found a centre of excellence of electrical power engineering. This centre shall be based in a new building directly located to our institute at the Schinkelstraße. Considering a further concentration of all RWTH institutes dealing with electrical power engineering we will set up a centre of excellence with more than 200 employees which will certainly strengthen our position.

It is planned to bear the costs for this new building by third-party funds only – first discussions with sponsors have been hold respectively started. I will continuously inform you about the content and progress of this important project.



Electrical power engineering centre of excellence (study)

Additionally, our scientific results have been successfully received by a broad audience. Using many papers and presentations at national and international conferences we have presented our research activities – with quite positive resonances. My predecessor, Prof. Klaus Möller, has been awarded with the so-called “VDE-Ehrenring” by the German Association of Electrical Engineers VDE based on his internationally renowned results on circuit breaker modelling. Our chief engineer, Dr.-Ing. Christian Cornelissen, got three awards during 2004. First of all, he has been awarded with the ETG Award by the Electrical Power Engineering Society of VDE (ETG) during the VDE – bi-annual conference 2004 in Berlin. Secondly, Dr. Cornelissen received the ABB-Award for his Ph.D.-thesis on ultrasonic diagnosis of polymeric materials. Finally, he received the Werner-von-Siemens Medal by the Werner-von-Siemens-Ring-Foundation. Additionally, Dipl.-Ing. Philipp Walter has gotten the IEEE Best Diploma Award 2004 for the best German diploma degree in electrical engineering. We are very proud on our laureates and would like to congratulate all of them for their efforts and wish them all the best for their future activities.

The cooperation with the “Forschungsgemeinschaft für elektrische Anlagen und Stromwirtschaft” (FGH e.V.) shows significant progress. Several joint national and international projects are in the preparation phase or in progress offering advantages for both parties. However, the hiring process of the department manager for “Power Equipment Technologies” (predecessor: Dr.-Ing. K. H. Weck) is showing some delays. Although some interesting candidates have been evaluated we have not been able to hire an adequate candidate. This again shows that excellent experts (with Ph.D. degree and experience in power engineering technologies) have plenty of business and career opportunities in many areas and companies. Nevertheless, we do hope to shortly come to a successful employment.

Our renovation activities are showing continuous progress. In the meantime we could inaugurate our new seminar and computer rooms. Our centrally located lecture hall is currently under renovation and will again be available in April 2005 – including state of the art presentation technologies. We will steadily focus on the renovation process of our infrastructure – however, even considering that our Rogowski-building will offer us acceptable basic conditions after the renovation, we strongly need the new premises in order to implement our extension plans. Here, we get excellent support by all administrative departments of RWTH Aachen University as well as by the BLB NRW and would like to again thank them for their engagement.

During 2004 we have noticed several changes within our team. In June 2004 Prof. Gerhard Pietsch retired officially; however, as expected he will certainly continue to actively assist us in all items and will personally promote all gas discharge process activities. Dr. Anatoli Saveliev, Lutz Hulka, Pinit Jitjing, Roberto Retana and Christian Schmitz took over

other career opportunities in the industry. Miss Renate Kessels, Miss Beata Ruminska and Miss Joanne Beesley left our institute and have been succeeded by Miss Doris Taufenbach-Schumacher, who took over the administration items of the internship department, and by Miss Renate Bosetti, who joined our administration.

We would like to thank our new alumni and wish all of them all the best for their future. Our scientific team has been strengthened by Miss Eva Marie Linne (short term assignment) and by her co-workers Dr. Hideki Ueno, Daniel and Christoph Kahlen. Furthermore, Manuel Lindner took over his assignment as trainee in our workshop as well as Markus Breuers who started as a information technologies trainee.

For 2005 we further on do expect positive trends for our research activities and improvements in our infrastructure. Of course, we continuously strive to steadily motivate our team. Beside all the challenges we need to take some time to cultivate some traditions, e.g. our "High Voltage Ball" on carnival

sunday or our traditional November event "Hektiker-Award – Mann mit der ruhigen Kugel". Considering the participation of a bigger group of Runners/Skaters (all members of our institute) at the Mannheim-Marathon Race 2005 we see a new tradition coming up – demonstrating our performance even in sports.

Finally, I would like to thank all my employees, our friends and partners for their valuable contributions, actively, ideally or even financially. Without your great support we would not have been able to reach what we have gotten. I do hope to continue cooperating with you all and would be glad if we are able to jointly work on all these challenges we see right now.

All the best for a successful 2005!

Yours sincerely



Aachen, January 2005

Berichte aus der Forschung

Dissertationen

Diplom-, Master- und Studienarbeiten

Veröffentlichungen

11

Research at ifht

PhD Theses

Diploma-, Master and Project Theses

Publications

Forschungsgebiete

Forschungsgruppe “Leistungsschalter”

Gruppenleiter: Dipl.-Ing. Michael Schwinne

Kurzbeschreibung:

Leistungsschalter arbeiten als Schalt- und Sicherheitselemente in elektrischen Energieversorgungsnetzen. In der Forschungsgruppe werden die physikalischen Grundlagen dieser Schalter eingehend untersucht. Im Bereich der Vakuumschalter werden u.a. Untersuchungen zur HF-Konditionierung von Vakuumschaltkammern durchgeführt. Im Forschungsgebiet SF₆-Leistungsschalter werden grundlegende experimentelle Untersuchungen wie Druckmessung, Bestimmung der Grenzausschaltleistung, optische Untersuchungen und Messung der Gasströmung in der Druckkammer durchgeführt. Die 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:

M. Sc. Danial * Dipl.-Ing. Robert Dommerque * Dipl.-Ing. Bernhard Heil
 Dipl.-Ing. Christoph Kahlen * Dipl.-Ing. Carsten Lüders * M. Sc. Piotr Margiel
 M. Sc. Roberto Retana (bis 31.08.) * Dipl.-Ing. Michael Schwinne
 M. Sc. Thanapong Suwanasri

Forschungsgruppe “Isoliersysteme und Diagnostik”

Gruppenleiter: Dr.-Ing. Christian Cornelissen

Kurzbeschreibung:

Die Forschungsgruppe bearbeitet ein weites Themengebiet von der Entwicklung neuartiger Isolierstoffe bis zur Zustandsbewertung von Isoliersystemen mittels verschiedener Diagnosemethoden. Im Bereich der Materialentwicklung liegt der Schwerpunkt aktuell auf der Untersuchung leichter Isolierschäume. Dabei steht die Frage im Vordergrund, ob den Vorteilen, wie vor allem der geringen Dichte, keine Einschränkungen hinsichtlich der elektrischen Eigenschaften gegenüber stehen. In einem weiteren Projekt wird die Einsetzbarkeit nanostrukturierter Silanbeschichtungen zur dauerhaften Erzeugung einer Superhydrophobie auf Isolatoroberflächen untersucht. Auf dem Gebiet der Diagnostik steht die Zustandsbewertung polymerer Isoliersysteme mittels Ultraschall im Mittelpunkt. Die Anwendbarkeit dieser für schallweiche Materialien wie Silikonkautschuk bislang

kaum eingesetzten Technik ist dabei bereits zur Detektion von in derartigen Materialien eingeschlossenen Fehlstellen gezeigt worden. Auch Grenzflächen- und Vernetzungsprobleme können nachgewiesen werden. Darauf aufbauend wird die Ausdehnung dieser Messtechnik auf ein breites Spektrum von Materialien und industriell hergestellten Betriebsmitteln untersucht.

Gruppenmitglieder:

Dr.-Ing. Christian Cornelissen * Dipl.-Ing. Alexander Tröger * Dr. Hideki Ueno
Dipl.-Ing. Philipp Walter * Dipl.-Ing. Torsten Wirz * M. Sc. Junliang Wu

Forschungsgruppe “Nachhaltige Energieversorgung”

Kurzbeschreibung:

Wesentliches Ziel einer nachhaltigen Energieversorgung ist die Minimierung des Ressourcenverbrauchs bei bedarfsgerechter und wirtschaftlicher Verfügbarkeit elektrischer Energie. Es wird postuliert, dass sich die Struktur von Energieversorgungsnetzen durch die vermehrte Leistungseinspeisung aus (dezentralen) regenerativen Stromerzeugungseinheiten verändern wird. Bislang ist allerdings noch nicht ergründet, für welche Gebiete und Lastflussdichten solche Systeme am (öko-)effizientesten eingesetzt werden können. Außerdem ist zu klären, ob sich der nachhaltige Charakter eines Energieversorgungsnetzes durch die Integration dieser Systeme weiter verbessern lässt oder ob die Integration auch gegenteilige Effekte nach sich zieht, wie es bei der zusätzlich bereitzustellenden Regelenergie durch die Windenergieeinspeisung der Fall ist. Mit Hilfe moderner Umweltmanagementmethoden wie der Ökoeffizienz bzw. der Ökobilanzierung (ISO Norm 14040 ff.) werden Energieversorgungsnetze sowie deren Betriebsmittel und Anlagen auf ihre Nachhaltigkeit hin untersucht und ihre Ökoeffizienz optimiert.

Gruppenmitglieder:

Dipl.-Ing. Eva Marie Linne * Dipl.-Ing. Uwe Macharey * Dipl.-Ing. Thomas Smolka

Forschungsgruppe “Anlagentechnik”

Kurzbeschreibung:

Der Forschungsbereich beschäftigt sich unter anderem mit der Untersuchung von Stromkräften hinsichtlich der Dimensionierung von Mittelspannungsschaltanlagen.

Gruppenmitglieder:

M. Sc. Kittipong Anantavanich * M. Sc. Pinit Jitjing (bis 31.03.)

Lehrgebiet “Gasentladungstechnik”

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

Kurzbeschreibung:

Dielektrische Barrierentladungen treten in verschiedenen Konfigurationen auf. Sie sind auch bei Atmosphärendruck Quellen nichtthermischer Plasmen. Daraus ergibt sich ein breites Feld möglicher Anwendungen, wie die Reaktionschemie (Ozonerzeugung und Zersetzung umweltschädlicher Gase), Oberflächenbehandlung und Lichttechnik. In der aktuellen Forschung werden Grundlagen der Barrierentladung erarbeitet, um die unterschiedlichen Anwendungen optimieren zu können.

Ein weiteres Forschungsthema ist die Druckentwicklung in Schaltanlagen auf Grund von Störlichtbögen und die Möglichkeiten, durch den Einsatz von Druckentlastungsmaßnahmen (Öffnungen und Kanäle, Störlichtbogenabsorber) die Auswirkungen dieser Fehler zu reduzieren.

Gruppenmitglieder:

Dipl.-Ing. Lutz Hulka * Dr. (Rus) Anatoli Saveliev (bis 30.06.)
 Dipl.-Ing. Michael Schmale

Fields of Research

Research Group “Circuit Breakers”

Manager: Dipl.-Ing. Michael Schwinne

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. The conditioning of vacuum circuit breakers is a necessary process in order to obtain the required impulse withstand voltage. By using a new procedure for HF-conditioning different aspects of increasing this voltage are investigated. Basic investigations of SF₆ 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. 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. One focus is the development of an efficient radiation model for example, the method of partial characteristics. Due to the link between simulations and experiments, simulations can be verified and the test device can be designed using the simulations.

Members of the group:

M. Sc. Danial * Dipl.-Ing. Robert Dommerque * Dipl.-Ing. Bernhard Heil
Dipl.-Ing. Christoph Kahlen * Dipl.-Ing. Carsten Lüders * M. Sc. Piotr Margiel
M. Sc. Roberto Retana (until 08/31/04) * Dipl.-Ing. Michael Schwinne
M. Sc. Thanapong Suwanasri

Research Group “Insulation Systems and Diagnosis”

Manager: Dr.-Ing. Christian Cornelissen

Short description of the research topics:

The research group *Insulation Systems and Diagnosis* covers a wide variety of technical challenges: ranging from the development of new insulating materials up to condition assessment of insulating systems by means of different diagnostic methods. In the field of material development, the main focus currently rests on investigations of light insulating foams with regard to their electrical characteristics. Due to their low density they are best suited for applications where light insulating materials are demanded. In other projects e.g. the applicability of nano-structured silane coatings for an enduring superhydrophobicity of insulation surfaces is investigated. In the field of diagnosis, investigations have shown

that ultrasonic diagnostic processes are appropriate methods to assess the conditions of polymeric insulating systems. It is possible to detect and localise small impurities. Furthermore, boundary layers between two different materials and inhomogeneous cross-linking are detectable. Software analysis tools are developed which can provide a detailed assessment. In the future, the application of ultrasonic diagnosis for different insulation systems will be investigated further.

Members of the group:

Dr.-Ing. Christian Cornelissen * Dipl.-Ing. Alexander Tröger * Dr. Hideki Ueno
Dipl.-Ing. Philipp Walter * Dipl.-Ing. Torsten Wirz * M. Sc. Junliang Wu

Research Group “Sustainable Power Systems”

Short description of the research topics:

The protection of natural resources is the main aim of a sustainable electrical power supply, providing that energy availability can be guaranteed and economical aspects are considered. Future power grids will be modified with more decentralized, renewable power supply systems. However, it is not yet fully understood in which areas and under which preconditions, such as power flow densities, these systems shall be installed and could be efficiently used with minimum impact on the environment. Additionally, there is a need to evaluate whether the integration of renewable, decentralized power systems provides a sustainable character of power grids or if it involves contrary effects, e.g. to provide additional reserve power for wind parks. So power systems, substations and their components, are analysed by using environmental management systems as the Life Cycle Assessment (LCA) method (ISO Standard 14040 ff.). Research activities for a combination of Life Cycle Costs with LCA results are still ongoing.

Members of the group:

Dipl.-Ing. Eva Marie Linne * Dipl.-Ing. Uwe Macharey * Dipl.-Ing. Thomas Smolka

Research Group “Systems Engineering”

Short description of the research topics:

Main topic is the investigation of current forces as a part of the design process of medium voltage switchboards.

Members of the group:

M. Sc. Kittipong Anantavanich * M. Sc. Pinit Jitjing (until 03/31/04)

Field of Instruction and Research

“Gas Discharge Engineering”

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

Short description of the research topics:

Dielectric barrier discharges (DBD) occur in different discharge arrangements. They are sources of non-thermal plasmas even at atmospheric pressure. Consequently, a number of possible applications arise in the field of plasma chemistry (ozone generation, decomposition of exhaust gases), surface treatment and lighting technology. The actual research is dealing with basics of DBDs, in order to achieve a better knowledge and understanding of the chemical processes and moreover, to find an optimal operation for different applications.

Another topic of investigation is the simulation of pressure rise in electrical installations due to fault arcs. Focus of the research is the investigation of using cooling grids (fault arc absorbers) to minimize damage and to protect people.

Members of the group:

Dipl.-Ing. Lutz Hulka * Dr. (Rus) Anatoli Saveliev (until 06/30/04)

Dipl.-Ing. Michael Schmale



Untersuchungen zum Abbrandverhalten von Isolierstoffdüsen in SF₆-Selbstblaskalchern

Auf dem Gebiet der Energieübertragung und -verteilung ist der Leistungsschalter das herausragende Sicherheitselement. Er muss in der Lage sein, die auftretenden Kurzschlußströme in Hochspannungsnetzen innerhalb kürzester Zeit sicher zu unterbrechen. Die dritte Generation der Leistungsschalter, welche nach dem Selbstblas-Prinzip arbeitet, genügt den gestiegenen Anforderungen an hoher Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit. Im Vergleich zu Puffer-Leistungsschaltern benötigt der Selbstblas-Schalter, auf Grund seiner Fähigkeit den Löschdruck selbst zu generieren, nur einen einfachen Antriebsmechanismus. Die Isolierstoffdüse in SF₆-Selbstblas-Schaltern trägt maßgeblich zur sicheren Funktionsweise dieser Schalter bei. Verschiedene Arbeiten beschäftigen sich mit dem Aufbau von Modellen zur Beschreibung des Abbrandverhaltens einer Isolierstoffdüse [1] und untersuchen den Einfluß des verwendeten Düsenmaterials auf das Schaltvermögen der Schalter [2]. Überprüfung, Vergleich und Weiterentwicklung der bestehenden Modelle mit einem Modell-Schalter sind Gegenstand der laufenden Untersuchungen.

Modell-Schalter

In Abbildung 1 ist der am Institut für Hochspannungstechnik verwendete Modell-Schalter abgebildet. Bei dem Entwurf des Schaltermodells wurde ein symmetrischer Aufbau gewählt. Variable Düsendurchmesser, veränderbares Druckkammervolumen, verschiedene Elektrodenformen und -abstände sowie eine einfache Installation sind weitere Eigenschaften des Modells. Die Doppeldüsenanordnung (4), bestehend aus grauem PTFE, führt den Lichtbogen während einer Schalthandlung. Ein Teil des abbrennenden PTFEs gelangt in die Druckkammer (7) und baut dort den nötigen Gasdruck auf, welcher eine Gasrückströmung in Richtung des Lichtbogens verursacht und diesen kühlt. Zwei CU-W-Ringelektroden (6), jeweils oberhalb der Düsen, dienen der Bestimmung der Lichtbogen-spannung und werden von zwei PES-Ringen (3) gehalten. Mit einem Drucksensor (8) wird der Druckaufbau in-

nerhalb der Druckkammer während eines Versuches zeitaufgelöst gemessen.

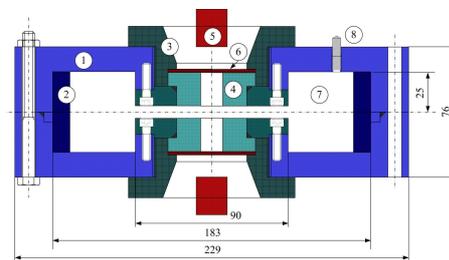


Abb. 1: Der am Institut verwendete Modell-Schalter

Prüfkreis und Messtechnik

Um eine möglichst genaue Nachbildung realer Bedingungen zu schaffen, wurde ein synthetischer Prüfkreis nach Weil-Dobke aufgebaut. Dieser Kreis besteht aus zwei einzelnen Schwingkreisen: dem Hochstromkreis und dem Hochspannungskreis, auch Injektionskreis genannt. In der Abbildung 2 ist der Kreis mit dem Schalteraufbau dargestellt.

Während der Experimente werden der Strom, der Druck in der Druckkammer, sowie die Spannung über den Elektroden und den Düsen gemessen. Nach jedem Versuch wird zusätzlich der Gewichtsverlust der Elektroden und der Düsen mit einer Messunsicherheit von 1 mg bestimmt, wodurch die Abbrandfaktoren berechnet werden können. Der Strom wird mit einem Manganin-Shunt mit einem Widerstand von $840 \mu\Omega$ und einer Ansprechzeit von 720 ns gemessen. Die Spannungen werden mit je einem Tektronix Tastkopf mit einem Teilerverhältnis von 1:1000 aufgenommen. Zur Druckmessung ist ein piezoelektrischer Sensor (8) vorhanden. Der Strom im Injektionskreis wird mit einer Pearsonsonde mit einem Übersetzungsverhältnis $1 A \hat{=} 10 mV$ aufgenommen. Die gemessenen Signale werden mit Lichtwellenübertragungsstrecken (S - R) in den Steuerraum übertragen und dort mit Transientenrekordern (R) aufgezeichnet. Eine neue Lichtwellenübertragungsstrecke der Firma AMO GmbH, Aachen mit einer Übertragungsfrequenz von 0-100 MHz bei 100 MSample/s erlaubt eine hochaufgelöste Übertragung der Spannung über den Elektroden und dem Strom im Injektionskreis.

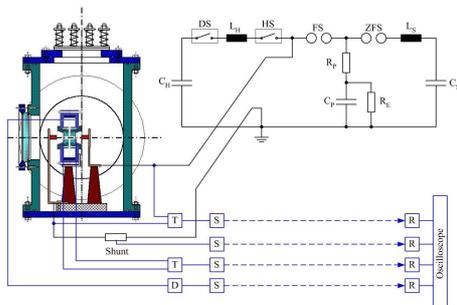


Abb. 2: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus

Ergebnisse

Die Ausschaltleistung des Schalters gibt die Fähigkeit wieder, mit welchen wiederkehrenden Spannungen bei vorgegebenen Stromsteilheiten der Schalter belastet werden kann, ohne thermisch oder dielektrisch zu versagen.

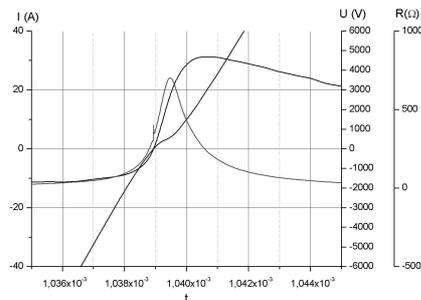


Abb. 3: Typischer Spannungs-, Strom- und Widerstandsverlauf eines thermischen Schalterversagens um Stromnull

In Abbildung 3 ist eine nicht erfolgreiche Schalthandlung zu sehen. Der Lichtbogenwiderstand beträgt im Stromnulldurchgang etwa 400Ω und reicht nicht aus, einer Neuzündung des Lichtbogens entgegenzuwirken. In Abbildung 4 ist die Ausschaltleistung des Schalter-Modells für eine Konfiguration (Düsendurchmesser 10 mm, $R_p = 300-1000 \Omega$) dargestellt. Die Ausschaltgrenze befindet sich in diesem Fall zwischen $10 A/\mu s$ und $13 A/\mu s$ (Rechtecke entsprechen thermischem Versagen bzw. einem Lichtbogenwiderstand kleiner 1000Ω , Kreise einem Lichtbogenwiderstand größer 1000Ω und Kreuze erfolgreichem Abschalten).

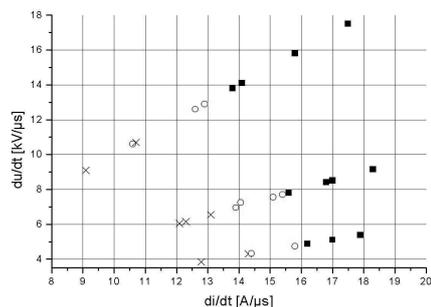


Abb. 4: Gemessene Ausschaltleistung

Nach jedem Versuch verschlechtert sich die Ausschaltleistung des Schalters auf Grund des Düsenabbrandes und der neuen Düsengeometrie. Aus diesem Grund werden Untersuchungen durchgeführt, bei denen, bei gleicher Belastung der Düse, die thermische Ausschaltleistung gemessen wird, bei Variation der Versuchsparameter Stromamplitude, Periodendauer und Radius der Isolierstoffdüsen (5 mm bis 8 mm). Der Abstand der Elektroden wird zu 10 cm festgesetzt. Nach jedem Versuch erhöht sich die Amplitude des Stromes auf Grund der Aufweitung der Düse und der damit verbundenen Änderung der Brennspannung (Abbildung 5).

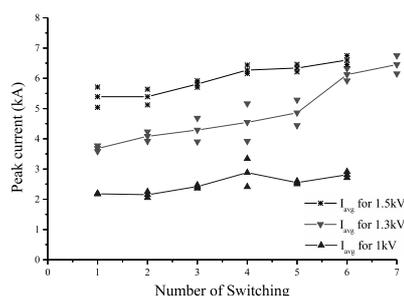


Abb. 5: Amplitude des Stromes in Abhängigkeit der Anzahl der Messungen

Eine Belastung mit 37 kJ der 5 mm Düse führt im Mittel nach dem fünften Test zum thermischen Versagen des Schalters, bei 21 kJ erst nach dem sieb-

ten Test und bei einer Belastung mit 10 kJ wird auch nach zehn Messungen kein thermische Versagen beobachtet. Der Massenabbrand der einzelnen Düsen beträgt bei 37 kJ etwa 210 mg, bei 21 kJ etwa 180 mg und bei 10 kJ etwa 70 mg.

Ausblick

Die Beziehungen zwischen der Stromamplitude und dem aufgebautem Druck, zwischen dem Düsenabbrand, Elektrodenabbrand und der Lichtbogenenergie und der Änderung der Düsengeometrie und der damit verbundene Änderung der Ausschaltleistung sind weiterhin Gegenstand der laufenden Untersuchungen.

Quellen

- [1] H. L. Müller, *Untersuchung und Modellierung des Abbrandverhaltens von Isolierstoffdüsen in SF₆-Leistungsschaltern*, Dissertation RWTH Aachen, 1994
- [2] M. Kriegel, *Einfluß des Düsenmaterials auf das Ausschaltverhalten von SF₆-Selbstblasschaltern*, Dissertation RWTH Aachen, 1999

Kontakt

Dipl.-Ing. Robert Dommerque
 dommerque@ifht.rwth-aachen.de
 ++49/(0)241/80-94945

M. Sc. Thanapong Suwanasri
 suwanasri@ifht.rwth-aachen.de
 ++49/(0)241/80-94944

Investigation of nozzle ablation in SF₆ self-blast circuit breaker

In transmission and distribution systems, circuit breakers are perceived as the most important device to making, carrying and breaking the current under normal and abnormal operating conditions. The third generation of circuit breakers using the self-blast principle was introduced in order to satisfy the steadily increasing demands, higher reliability and more economical in design. By using self-generated pressure, the required driving energy could be reduced, so that compared to puffer type circuit breakers relatively simple spring mechanism can be used. However, intensive use of nozzle ablation seems to be unavoidable in order to build up the required pressure in the expansion chamber. Since nozzle ablation has played a major role on interrupting capability, it is a point of interest in many research works such as [1], which was focused on a model set-up to describe the ablation behaviour of insulating nozzles, and [2] focused on the influence of different nozzle materials on the interrupting capability of circuit breakers. The principle of modelling nozzle ablation behaviour and its influences on interrupting capability has been developed and performed using the model circuit breaker.

Circuit Breaker Model

The self-blast circuit breaker model (Fig. 1) has been designed to easily investigate the switching capacity using nozzles of variable diameter, adjustable expansion volume, variable electrode form, adjustable distance of both electrodes and durability for mechanical and thermal stresses. It is rotational symmetry around the axis. At the center of circuit breaker model are two variable diameter, cylindrical PTFE nozzles (4) in double nozzle arrangement. During current interruption, the ablated nozzle material influences the gas flow phenomena. One part of gas flow goes out through nozzle outlets to the space surrounding the model circuit breaker, while the other goes into 1 Litre expansion chamber (7) and the storage gas flows back to the arc and cool the arcing gap around current zero. The two Cu-W ring electrodes (6), aligned on the top of both PTFE nozzles by screwed PES rings (3) for the easy of mounting and dismantling of measured electrodes and

nozzles, are used to measure voltage drop across the two nozzles. The pressure build up inside expansion chamber is measured by pressure sensor (8) located as shown in Fig. 1.

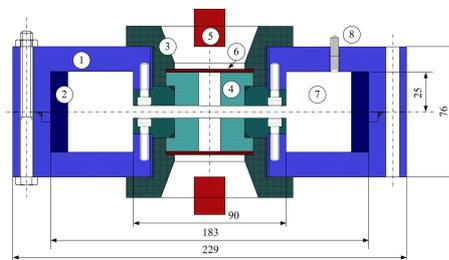


Fig. 1: circuit breaker model

Synthetic test circuit and measurement techniques

Due to the fact that the stresses to circuit breaker occur in separated time with only short overlapping interval, synthetic test circuit can be used to establish the required current and voltage stresses. Hence the stresses are produced from 2 separated test circuits (figure 2).

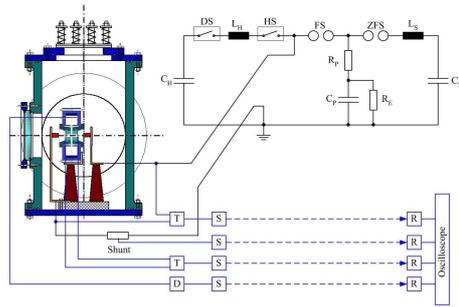


Fig. 2: test circuit and measuring devices

During the experimental test, the following parameters are measured: current, voltage drop across arcing electrodes, voltage drop across nozzles and pressure inside expansion chamber. Before and after each test, the weight of two nozzles and two electrodes are measured with 1mg measurement uncertainty to determine the ablation rate and mass losses of nozzles and electrodes. The interrupting current is measured by using Manganin-tube shunt with $850 \mu\Omega$ resistance and 720ns rise time. The voltages are reduced to a measurable value by using Tektronix high voltage test probes (T) with divider ratio 1.000:1 for both voltage measurements. The current in the injection circuit is measured with a Pearson current probe with a $1A \hat{=} 10mV$ transmission ratio. The pressure in expansion chamber is measured by piezoelectric pressure sensor, installed in adapter and fitted into the aluminium housing of expansion chamber. The above mentioned electrical signals are transmitted by using optical sender (S) and receiver (R). After that they are displayed on two oscilloscopes. A new optical sender and receiver from the company AMO GmbH with a frequency in the range of 0-100 MHz and 100MSample/s is used for a high resolution measurement of the current in the injection circuit.

Experiment results

The capability of a circuit breaker to withstand a recovery voltage by a given current steepness in the current zero can be described in the interrupting limit diagram. In fig. 3 the interrupting limit of the test device is shown. In the given configuration (nozzle diameter 10mm, $R_p=300-1000\Omega$) the limit is between $10 A/\mu s$ and $13 A/\mu s$ (Squares accord to failure (arc-resistance smaller than 1000Ω), Dots accord to failure with an arc-resistance higher than 1000Ω and crosses accord to holder).

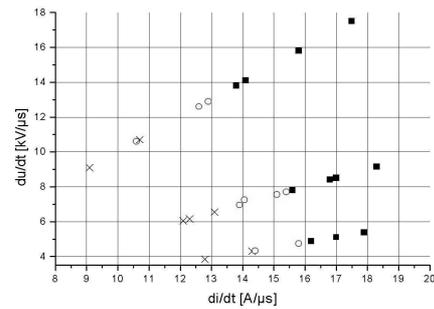


Fig. 3: Measured interrupting limit

An example of a highly resolved measurements is given in figure 4. The arc resistance is lower than 500Ω and the figure shows a failure to break.

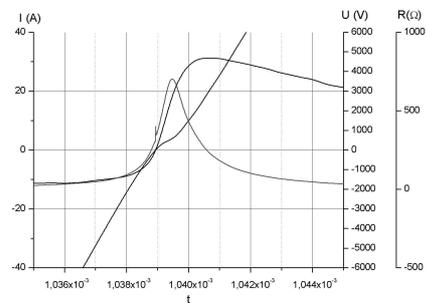


Fig. 4: typical arc voltage, current, and resistance measurement around current zero

After each current interruption, the interrupting capability of circuit breaker is deteriorated because of the mass loss and geometry changes of nozzle from ablation and contact wear. Therefore, the investigation has been performed by varying the amplitude and arcing time of interrupting current and amplitude of recovery voltage from high voltage circuit. Under each equally-controlled experimental conditions, the tests were performed consecutively until thermal failure occurred. The measured current, voltages, pressure and mass losses of electrodes and nozzles were recorded. The 5mm and 8mm diameter nozzles were used under 10cm distance between two fixed electrodes.

The amplitude of peak current increases after each interruptions because of the influence of nozzle diameter expansion on ablation-controlled arc (fig. 5).

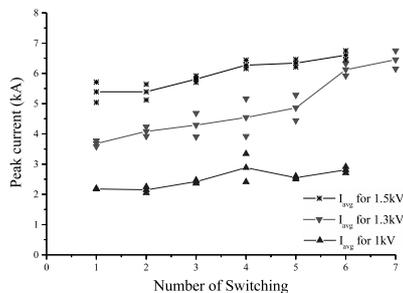


Fig. 5: amplitude of peak current

From the experiment with 5mm nozzle, thermal failure occurred at the fifth interruption in average, at the seventh interruption in average and no sign of failure after 10 interruptions for 37 kJ, 21 kJ and 10 kJ short circuit power

respectively. The higher the current amplitude is, the larger the expanded diameter of the nozzle after each interruptions and higher pressure in the expansion chamber. Mass losses of nozzle around 210mg, 180mg and 70mg after each interruptions for 37 kJ, 21 kJ and 10 kJ short circuit power respectively were recorded.

The relation between arcing current and pressure, between nozzle ablation, contact erosion and arcing energy and geometry changes of nozzle after current interruptions to study the degradation of interrupting unit were also investigated in this work.

References

- [1] H. L. Müller, *Untersuchung und Modellierung des Abbrandverhaltens von Isolierstoffdüsen in SF₆-Leistungsschaltern*, Dissertation RWTH Aachen, 1994
- [2] M. Kriegel, *Einfluß des Düsenmaterials auf das Ausschaltverhalten von SF₆-Selbstblässchaltern*, Dissertation RWTH Aachen, 1999

Contact

Dipl.-Ing. Robert Dommerque
 dommerque@ifht.rwth-aachen.de
 ++49/(0)241/80-94945

M. Sc. Thanapong Suwanasri
 suwanasri@ifht.rwth-aachen.de
 ++49/(0)241/80-94944

Simulation von SF₆-Selbstblasschaltern

Simulationen von Selbstblasschaltern werden zur Entwicklung und Optimierung der Schaltkammern benötigt. CFD-Programme ermöglichen die Simulation der Gasströmung, müssen allerdings durch Materialdaten, Lichtbogen- und Turbulenzmodelle erweitert werden. Die Schaltstiftbewegung während eines Abschaltvorgangs wird in der Simulation durch ein bewegtes Gitter berücksichtigt.

Einleitung

Die zur Simulation von SF₆ Selbstblasschaltern erforderlichen Modelle beinhalten neben der Gasströmung ein Lichtbogenmodell, welches sich aus der ohmschen Heizleistung und der Strahlung ergibt und als Quellterm in der Energie-Erhaltungsgleichung berücksichtigt wird [1]. Alternativ kann auch das Zwei-Zonen-Modell verwendet werden, welches den abbrandbestimmten Lichtbogen gemäss der zugrunde liegenden Gleichungen durch Energie- und Massequellen beschreibt ([2], [3]).

Unabhängig von der Wahl des Lichtbogenmodells muss aufgrund hoher Reynoldszahlen die Turbulenz in der Simulation berücksichtigt werden (Abschätzung in [3]). Hierzu stellt der kommerzielle Gleichungslöser CFX5.7 u. a. das SST-Modell (Shear Stress Transport Model) zur Verfügung.

Soll eine reale Schaltergeometrie untersucht werden, so muss das Gitter im Lösungsraum entsprechend dem zeitlichen Verlauf des Schaltstifts verändert werden.

Turbulenz-Modell

Da das k- ω -Modell Turbulenzeffekte in Wandnähe und das k- ϵ -Modell im Außenbereich gut beschreibt, wird in [4] eine Kombination der beiden Modelle vorgeschlagen, in der das k- ω -

Modell mit einer Funktion F1 und das transformierte k- ϵ -Modell mit (1-F1) multipliziert wird, wobei die Funktion den Wert Eins vor der Wand annimmt und Null außerhalb der Grenzschicht. Nach der Addition der Modelle erhält man das Turbulenz-Modell in folgender Form für die k und ω -Gleichung:

$$\frac{\partial \rho k_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho U_j k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{k3}} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \beta^* k \omega$$

$$\frac{\partial \rho \omega_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho U_j \omega}{\partial x_j} = \alpha \frac{\omega}{k} P_k - \beta_3 \rho \omega^2 + (1 - F_1) \frac{2\rho}{\sigma_{\omega 2} \omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{\omega 3}} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right]$$

Die Koeffizienten ergeben sich als Linearkombination der zugrunde liegenden Modelle.

Abbildung 1 zeigt die Druckverteilung im Lösungsraum für einen Modell-Selbstblasschalter, die für einen sinusförmigen Stromverlauf bei t = 5ms berechnet wurde.

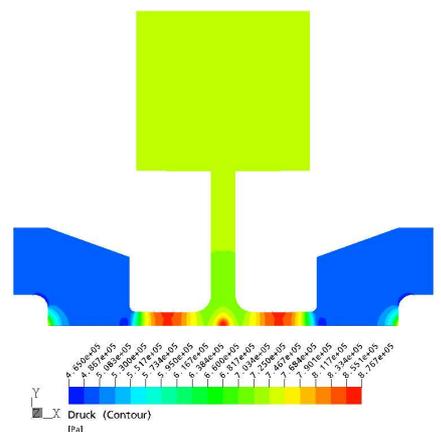


Abb. 1: Druckverteilung im Lösungsraum

Gitterbewegung

Die Schaltstiftbewegung wurde anhand eines Puffer-Schalters getestet und ist in Abbildung 2 dargestellt. Man erkennt den Vorteil des strukturierten Gitters, das wesentlich stärker gestaucht und gestreckt werden kann, als ein unstrukturiertes Gitter. Der Lösungsraum wurde in zwei Bereiche unterteilt und mit einem GGI (General Grid Interface) verbunden. Somit ist es möglich, das Gitter in beiden Bereichen unabhängig von einander zu verändern, ohne den gesamten Lösungsraum neu zu vermeshen.

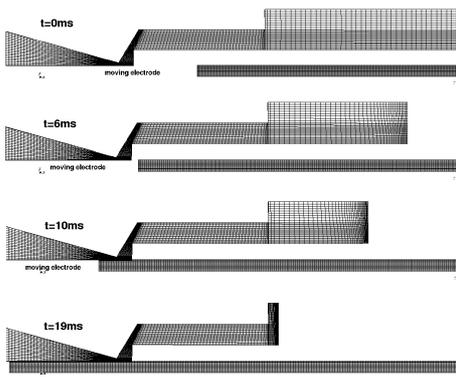


Abb. 2: Bewegung des Gitters

Ergebnis & Ausblick

Das bestehende Simulationsmodell wurde in zwei Bereichen erweitert, wobei die Schaltstiftbewegung nun wie gezeigt durch das bewegte Gitter in der Simulation berücksichtigt werden kann und Turbulenz-Effekte sich im gesamten Lösungsraum durch das

SST-Modell modellieren lassen. Weitere Untersuchungen sollen den Kupferabbrand an den Elektroden berücksichtigen und für die Berechnung der Grenzausschaltleistung eines Schalters dienen.

Quellen

- [1] Trepanier, Y. et. al.: *Modelling and Simulation of Nozzle Ablation in High-Voltage Circuit Breakers*, J. Phys. D: Appl.Phys. 33, S.2583-2590; 2000
- [2] Müller, L., *Untersuchung und Modelierung des Abbrandverhaltens von Isolierstoffdüsen in SF₆-Leistungsschaltern*, Dissertation RWTH Aachen
- [3] Claessens, M.: *Simulation von Gasströmungen in SF₆-Selbstblusschaltern bei Kurzschlussabschaltung*, Dissertation RWTH Aachen
- [4] CFX5: *CFX5 Benutzer Handbuch; Version CFX5.7*

Kontakt

Dipl.-Ing. Carsten Lüders
lueders@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94914

Dipl.-Ing. Piotr Margiel
piotr@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94916

Simulation of SF₆-Selfblast Circuit Breakers

Simulation in Electrical Engineering are used either for development of new elements of Circuit Breakers or for the investigation of switching arc phenomena. The simulation tool is made by a transient calculation using a CFD (Computational Fluid Dynamics) solver and extended by elements which consider material data, electrical arc phenomena and a turbulence model.

Introduction

We have used the software package CFX5 in our work to solve the mass and impulse balance including an electric arc model. For this task we used the following models:

1. The electric arc model consists on the ohmic heat source and the radiation losses, which are included in the energy balance. Examples are given in [1].
2. The Two-zone-model describes the radiation dominated electrical arc in a cylindrical, ablating nozzle.

The main advantage of this integral arc model is the short simulation time ([2], [3]).

Independent on our electric arc model a turbulence model is still required because of the high Reynolds number (estimation of the Reynolds number is given in [3]). For this task we used the SST-model in our investigations.

In order to consider moving elements, the circuit breaker was divided in two domains. Between them a GGI (General Grid Interface) was created.

Turbulence-Model

The k- ω based SST model [4] accounts for the transport of the turbulent stress and gives highly accurate predictions of the onset and the amount of flow

separation under adverse pressure gradients. It consists of a transformation of the k- ϵ model to a k- ω formulation and a subsequent addition of the corresponding equations. The Wilcox model is thereby multiplied by a blending function F1 and the transformed k- ϵ model by a function (1-F1). F1 is equal to one near the surface and switches over to zero inside the boundary layer, the standard k- ϵ model is therefore recovered. The corresponding equations are given below:

$$\frac{\partial \rho k_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho U_j k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_i}{\sigma_{k3}} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \beta^* k \omega$$

$$\frac{\partial \rho \omega_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho U_j \omega}{\partial x_j} = \alpha \frac{\omega}{k} P_k - \beta_3 \rho \omega^2 + (1 - F_1) \frac{2\rho}{\sigma_{\omega 2} \omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_i}{\sigma_{\omega 3}} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right]$$

Figure 1 shows the pressure distribution of our model circuit breaker for a sinusoidal current at t=5ms.

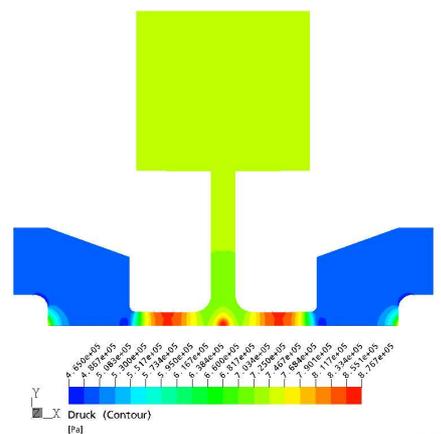


Fig. 1: pressure distribution

Moving-Grid

The contact movement was tested with a simple puffer circuit breaker geometry and the grid is shown in figure 2. The structured grid which was used in our simulation allows to be stretched and compressed more than an unstructured grid. The geometry was divided in two domains which were connected with a GGI (General Grid Interface).

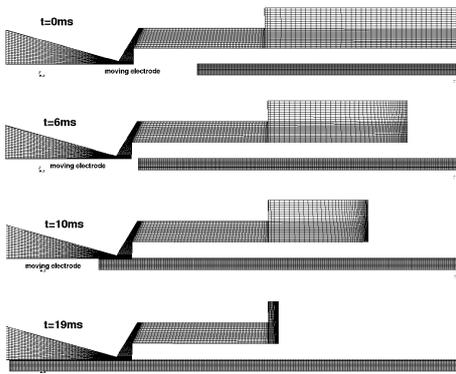


Fig. 2: grid movement

Results

Our simulation model was improved in order to take into account the contact movement and turbulence effects. We showed the pressure distribution in our model circuit breaker and the contact movement in a test geometry. Further investigations should include the electrode ablation which is impor-

tant for the calculation of the interruption limit.

References

- [1] Trepanier, Y. et. al.: *Modelling and Simulation of Nozzle Ablation in High-Voltage Circuit Breakers*, J. Phys. D: Appl.Phys. 33, S. 2583-2590; 2000
- [2] Müller, L., *Untersuchung und Modellierung des Abbrandverhaltens von Isolierstoffdüsen in SF₆-Leistungsschaltern*, Dissertation RWTH Aachen
- [3] Claessens, M.: *Simulation von Gasströmungen in SF₆-Selbstblasschaltern bei Kurzschlussabschaltung*, Dissertation RWTH Aachen
- [4] CFX5: *CFX5 User Manual; Version CFX5.7*

Contact

Dipl.-Ing. Carsten Lüders
lueders@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94914

Dipl.-Ing. Piotr Margiel
piotr@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94916

CFD-Simulation von SF₆ Leistungsschaltern

Strahlung ist einer der wichtigsten Energietransport-Mechanismen im elektrischen Lichtbogen. Im heißen Lichtbogenkern wird überwiegend Strahlung emittiert, während in der den Lichtbogen umgebenden Dampfschicht Strahlung absorbiert wird. Eine exakte Lösung der Strahlungstransportgleichung ist für den Einsatz in CFD-Simulationen zu aufwendig. Deshalb werden Näherungslösungen wie die Methode der partiellen Charakteristiken (MPC) zur Berechnung der Strahlungsflußdichte und der Divergenz der Strahlungsflußdichte eingesetzt.

Einleitung

Zur Simulation des elektrischen Lichtbogens in SF₆ Hochspannungsschaltern werden CFD-Solver (computational fluid dynamic) eingesetzt. Eine der größten Herausforderungen bei der Simulation ist die Berechnung des Strahlungstransports. Eine exakte Lösung der Strahlungstransportgleichung ist prinzipiell möglich, in der Praxis aber nicht einsetzbar, weil über 400 Spektrallinien und ebenso die Kontinuumsstrahlung im Wellenlängenbereich von 10 nm bis 30 μm berücksichtigt werden muß.

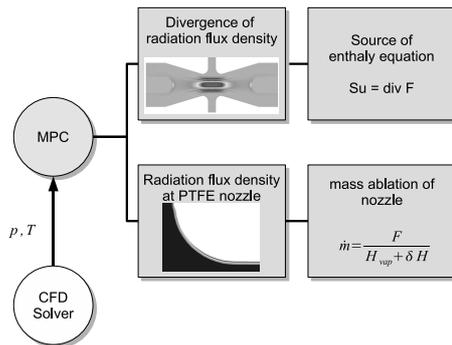


Abb. 1: MPC Berechnung

Daher wird als Approximation die Methode der partiellen Charakteristik eingesetzt. Unter der Annahme einer linearen Temperaturverteilung entlang eines Strahls, können zwei Materialfunktionen - die partiellen Charakteristiken *Som* and ΔSim - berechnet

werden. Für die Simulationen wurden die Strahlungsdaten von Aubrecht [1] für SF₆ und PTFE eingesetzt.

Simulationsmethode

Für die Simulationen wurde ein finiter Volumen-Solver eingesetzt. Abbildung 1 stellt das Prinzip der Strahlungsberechnung dar. Der CFD-Solver liefert für das gesamte Strömungsgebiet die Druck- und Temperaturverteilung. Diese Information dient als Input für die MPC-Berechnung, welche die Strahlungsflußdichte und die Divergenz der Strahlungsflußdichte liefert. Die Divergenz der Strahlungsflußdichte berechnet sich zu:

$$\nabla \cdot \vec{F}(P) \approx \sum_{i=1}^{N_{\Theta}} \left[\sum_{j=1}^{N_{\varphi}} \nabla \cdot \vec{F}_{\vec{s}_j} \Delta \varphi_j \right] \sin \Theta_i \Delta \Theta_i$$

$$\nabla \cdot \vec{F}_{\vec{s}} \approx \text{Som}(T_P, T_S, |P - S|, P_P) - \sum_{i=1}^{N_{\xi}} \Delta Sim(T_P, T_{\xi_i}, |P - \xi_i|, P_P)$$

Für die Strahlungsflußdichte gilt:

$$\vec{F}(P) \approx \sum_{i=0}^{N_{\Theta}} \left[\sum_{j=1}^{N_{\varphi}} \vec{s}_{ij} I_{\vec{s}}(P, \varphi, \Theta_i, P_P) \right] \sin \Theta_i \Delta \Theta_i$$

$$I_{\vec{s}} \approx \sum_{i=1}^{N_{\xi}} \text{Som}(T_P, T_{\xi_i}, |P - \xi_i|, P_P) \Delta \xi_i$$

Die partiellen Charakteristiken S_{om} und ΔS_{im} sind Funktionen der Temperatur am Start- und am Endpunkt eines Strahls, der Länge des Strahls und des Druckes. Dabei wird ein konstanter Druck entlang eines Strahls angenommen. Die Berechnung des Düsenabbrands erfolgt gemäß Trepanier [2]:

$$\dot{m} = \frac{F}{H_v + \delta H_a}$$

Die Summe $H_v + \delta H_a$ ist gleich der für die Verdampfung von PTFE und Aufheizung auf 3500K erforderlichen Energie. Die MPC-Berechnung wird nach jeder inneren Iteration des Solvers neu durchgeführt.

Ergebnisse

Zur Verifikation wurde das Experiment von Kriegel [3] nachsimuliert. Es wurden MPC-Simulationen der Hochstromphase mit einem effektiven Strom von 1500 A durchgeführt.

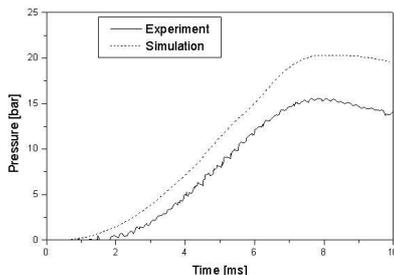


Abb. 2: Gemessene und simulierte Druckentwicklung

Abbildung 2 zeigt den simulierten und gemessenen Druckaufbau in der Druckkammer. Der simulierte Kurvenverlauf stimmt gut mit der Messung überein, der Maximalwert ist aber um etwa 25% zu hoch. Abbildung 3 zeigt die simulierte und gemessene Lichtbogenspannungen, welche sich in guter Übereinstimmung befinden.

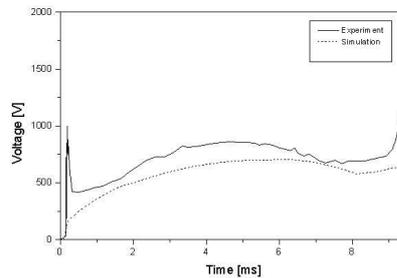


Abb. 3: Lichtbogenspannung

Ausblick

Es werden weitere Simulationen zur Verifikation der Simulationen durchgeführt. Das MPC-Strahlungsmodell soll mit anderen Berechnungsmethoden verglichen und für die Simulation von realen Leistungsschaltern mit bewegtem Schaltstift erweitert werden.

References

- [1] Aubrecht et al.: *Calculations of radiation transfer in SF₆ plasmas using the method of partial characteristics*, J. Phys. D: Appl. Phys. 27 (1994) 2066-2073
- [2] J. Y. Trepanier: *Modelling and simulation of nozzle ablation in high-voltage circuit breakers*, 2000
- [3] Kriegel, M.: *Einfluss des Düsenmaterials auf das Ausschaltverhalten von SF₆ Selbstblaskaltern*, doctor thesis, RWTH Aachen, 1999

Contact

Dipl.-Ing. Michael Schwinne
 schwinne@ifht.rwth-aachen.de
 ++49/(0)241/80-94945

CFD simulation of SF₆ circuit breakers

Radiation is one of the most important energy transport mechanisms in the electric arc. The hot core of the arc emits radiation, in the boundary of the arc radiation is absorbed. An exact numeric solution of the radiation transport equation is very time-consuming and cannot be used in CFD-simulations. Therefore, the method of partial characteristics (MPC) is used to calculate both the divergence of radiation flux density in the flow domain and the radiation flux density at the boundary of the PTFE nozzle.

Introduction

Computational fluid dynamic solvers (CFD) are used for the simulation of electric arcs inside SF₆ circuit breakers. One of the challenges of SF₆ circuit breaker simulations is the calculation of the radiation. Exact calculations by solving the radiation transport equation, though principally possible are not recommended to perform in practical applications due to the fact that about 400 spectral lines and also continuum radiation spanning wavelengths from 10 nm to 30 μm needs to be considered. Therefore, an approximation, the method of partial characteristics (MPC) as formulated by Sevast Yanenko is used. Considering a constant pressure and a linear temperature profile along one ray, it is possible to obtain two material functions - the so called partial characteristics *Som* and ΔSim which have been precalculated by Aubrecht [1].

Simulation method

A finite volume solver is used for the simulations. Figure 1 shows the principle of the MPC simulation. The CFD-solver provides the pressure and temperature distribution of the fluid domain. This information is used as an input of the MPC calculation. The output of MPC is the divergence of radiation flux density and the radiation flux density at the nozzle.

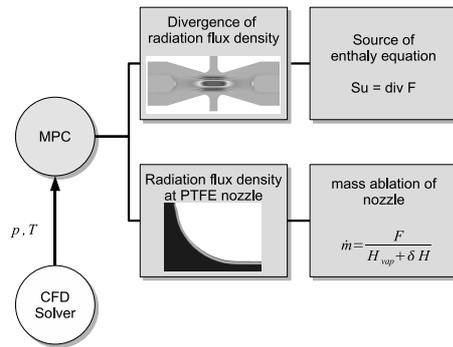


Fig. 1: MPC calculation

The divergence of radiation flux density is calculated according to the equations:

$$\nabla \cdot \vec{F}(P) \approx \sum_{i=1}^{N_{\Theta}} \left[\sum_{j=1}^{N_{\varphi}} \nabla \cdot \vec{F}_{\vec{s}} \Delta \varphi_j \right] \sin \Theta_i \Delta \Theta_i$$

$$\nabla \cdot \vec{F}_{\vec{s}} \approx Som(T_P, T_S, |P - S|, P_P) - \sum_{i=1}^{N_{\xi}} \Delta Sim(T_P, T_{\xi}, |P - \xi_i|, P_P)$$

The radiation flux density is calculated according to the following equations:

$$\vec{F}(P) \approx \sum_{i=0}^{N_{\Theta}} \left[\sum_{j=1}^{N_{\varphi}} \vec{s}_{ij} I_{\vec{s}}(P, \varphi, \Theta_i, P_P) \right] \sin \Theta_i \Delta \Theta_i$$

$$I_{\vec{s}} \approx \sum_{i=1}^{N_{\xi}} Som(T_P, T_{\xi_i}, |P - \xi_i|, P_P) \Delta \xi_i$$

The partial characteristics *Som* and ΔSim are functions of temperature at the beginning and end of each ray,

the pressure and the length of the ray. Here, a constant pressure along the ray is assumed. The mass sources are calculated according to Trepanier [2].

$$\dot{m} = \frac{F}{H_v + \delta H_a}$$

The sum $H_v + \delta H_a$ represents the energy required to vaporise the PTFE and heat it up to 3500 K. The MPC calculation is performed after each inner iteration step of the solver.

Results

Experiment were carried out by Kriegel [3] using a self blast circuit breaker model. MPC simulations of the high current time period were done considering an arcing current of 1500 A (rms). Figure 2 shows the calculated and measured pressure build-up inside the pressure chamber of the test device. Even though the shape of the pressure build-up is in good correlation with the measurement, the peak value is overestimated in the simulation.

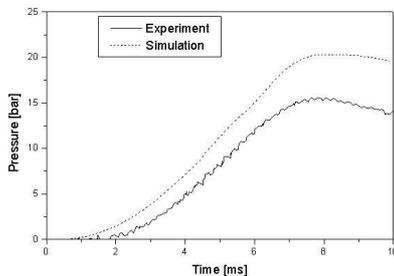


Fig. 2: pressure build-up

Figure 3 shows the calculated and measured arc voltage which are in a good correlation.

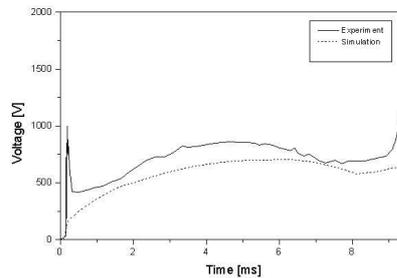


Fig. 3: arc voltage

Outlook

The next steps will be further verifications of the MPC, comparison to other radiation models and the extension of the used calculation algorithm regarding to the simulation of the moving electrode. Further development will also concentrate on the electrode ablation and influence of copper on the thermal performance of circuit breakers.

References

- [1] Aubrecht et al.: *Calculations of radiation transfer in SF₆ plasmas using the method of partial characteristics*, J. Phys. D: Appl. Phys. 27 (1994) 2066-2073
- [2] J. Y. Trepanier: *Modelling and simulation of nozzle ablation in high-voltage circuit breakers*, 2000
- [3] Kriegel, M.: *Einfluss des Duesenmaterials auf das Ausschaltverhalten von SF₆ Selbstblasschaltern*, doctor thesis, RWTH Aachen, 1999

Contact

Dipl.-Ing. Michael Schwinne
schwinne@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94945

Untersuchungen zum Verhalten des Konditionierungslichtbogens von Vakuum-schaltkontakten

Die erforderliche Spannungsfestigkeit von neuen Vakuumleistungsschaltern wird erst durch eine Konditionierung der Schaltkontakte erreicht. Dabei werden durch energiearme Lichtbögen Rauigkeiten und Verunreinigungen der Schaltkontakte beseitigt. Neben den Untersuchungen zur Konditionierung an industriell gefertigten Vakuumschaltkammern mit einem neu entwickelten Verfahren zur Hochfrequenz-Konditionierung wird ein Hochvakuum-pumpstand aufgebaut, mit dem eine optische Untersuchung des Konditionierungslichtbogens an einem Modellschalter möglich ist.

Einleitung

Mit einem neu entwickelten Verfahren der Hochfrequenz-Strom-Konditionierung für Vakuumschaltkammern lässt sich die Spannungsfestigkeit der Schaltkontakte deutlich erhöhen. Zur Optimierung des Verfahrens sind genaue Kenntnisse über das Verhalten des Konditionierungslichtbogens erforderlich. Zu diesem Zweck wird ein Hochvakuum-pumpstand aufgebaut, in dem an einem Modellschalter der Konditionierungslichtbogen mit Hilfe einer CCD-Kamera erfasst werden kann.

Modellschalter im Hochvakuum-pumpstand

Bei der Hochfrequenz-Strom-Konditionierung wird durch die große Anzahl von Stromnulldurchgängen ein häufiges Verlöschen und Wiedertzünden des Konditionierungslichtbogens ermöglicht. Um einen guten Konditionierungseffekt zu erzielen, ist darüberhinaus auch die räumliche Verteilung der einzelnen Konditionierungslichtbögen wichtig. In einem Hochvakuum-pumpstand (Abb. 1) wird ein Modellschalter eingebaut, an dem das Verhal-

ten des Konditionierungslichtbogens untersucht wird.



Abb. 1: Hochvakuum-pumpstand mit Modellschalter

Mit Hilfe einer CCD-Kamera werden die während der Konditionierung auftretenden Lichtbögen erfasst. Da im wesentlichen die Kenntnis der räumlichen Verteilung wichtig ist, wird bei der Konditionierung ein Bild über die gesamte Dauer der Konditionierung aufgenommen. Man erhält somit ein integrales Bild aller Konditionierungslichtbögen, die tatsächlich zeitlich versetzt auftreten. Abb. 2 zeigt die während einer Hochfrequenz-Strom-Konditionierung aufgetretenen Lichtbögen. Die CCD-Kamera ist dabei in einem Winkel von ca. 10 Grad auf den Kontaktspalt des Modellschalters gerichtet, um die Oberfläche eines Schaltkontaktes zu erfassen.

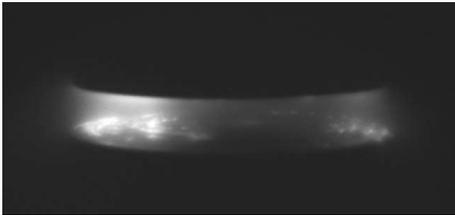


Abb. 2: Konditionierungslichtbogen im Modellschalter

Oberflächenanalyse der Schaltkontakte

Zur Beurteilung der Auswirkung der Konditionierungslichtbögen werden die Schaltkontakte mikroskopisch untersucht. Abb. 3 zeigt die Oberfläche eines Schaltkontaktes nach der Hochfrequenzkonditionierung. Es handelt sich hierbei um einen Bereich, in dem der Konditionierungslichtbogen die Kontaktoberfläche angeschmolzen hat.

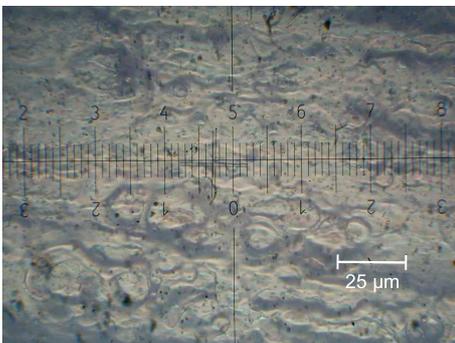


Abb. 3: Kontaktoberfläche nach HF-Konditionierung

Durch die Anschmelzung sind mikroskopische Spitzen beseitigt worden, wodurch keine signifikanten Feldstärkeerhöhungen mehr auftreten. Die Spannungsfestigkeit des Schaltkontaktes wird damit erhöht, was durch eine

Prüfung der Spannungsfestigkeit bestätigt wird.

Ausblick

Durch systematische Untersuchungen am Modellschalter lassen sich Korrelationen zwischen dem Verhalten des Konditionierungslichtbogens und den gemessenen Strom- und Spannungsverläufen ermitteln. Die hieraus gewonnenen Erkenntnisse sollen anschließend auf konventionelle Vakuumschaltkammern übertragen werden, bei denen eine Beobachtung des Konditionierungslichtbogens nicht möglich ist.

Quellen

- [1] N. Hardt, M. Heimbach, H. Böhme, D. Gentsch: *The Dynamic Voltage/Current Characteristics of Vacuum Arcs after Breakdown at Currents in the lower kHz-range*, ETEP Vol. 12, No.5, September/October 2002
- [2] T. Shioiri, T. Kamikawaji, E. Kaneko, M. Homma, H. Takahashi, I. Ohshima: *Influence of Elektrode Area on the Conditioning Effect in Vacuum*, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 2, No. 2, 1995

Kontakt

Dipl.-Ing. Bernhard Heil
heil@ifht.rwth-aachen.de
++49 (0) 241 80 9 49 50

Investigations on the Conditioning-Arc of Vacuum Circuit Breaker Contacts

The required withstand voltage of new vacuum circuit breakers is reached by a conditioning process. Thereby roughness and impurities are eliminated by electric arcs. In addition to investigations with industrial vacuum circuit breakers, using a newly developed process of high frequency conditioning, a high-vacuum set-up is built up for optical investigations on the conditioning arc.

Introduction

The withstand voltage of vacuum circuit breakers can significantly be increased using a newly developed process of high frequency conditioning. For an optimization, precise information concerning the conditioning arc is necessary. For this, a high-vacuum set-up is built up, whereby the conditioning-arc can be regarded using a CCD-camera.

Circuit Breaker Model in a High-Vacuum Set-Up

During the high-frequency conditioning process, the conditioning arcs extinguish and reignite several times due to the higher number of current zero crossings. For an effective conditioning process, the distribution of the arcs is of particular importance. For this purpose, a high-vacuum set-up with an integrated circuit breaker model is built up. The conditioning arcs of this circuit breaker model are investigated. Figure 1 shows the high-vacuum set-up.



Fig. 1: High-Vacuum Set-Up with Circuit Breaker Model

The arcs generated during a conditioning process can be recorded using a CCD-camera. Due to the fact, that basically the distribution of the arcs is important, it is sufficient to take one picture of the whole conditioning process. Thereby an integrated picture is generated, whereas the single arcs actually occur at different times. In Figure 2 the arcs occurred during a conditioning process are shown. The view of the CCD-camera is diagonal to the contact gap, so that the surface of one contact is shown.

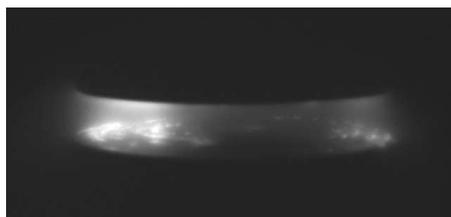


Fig. 2: Conditioning-Arc of the Circuit Breaker Model

Surface Analysis of the Circuit Breaker Contacts

To evaluate the effect of the conditioning process, the circuit breaker contacts are investigated microscopically. Figure 3 shows the surface of a circuit breaker contact after a high-frequency conditioning process. The figure shows an area, where the contact surface is molten due to a conditioning arc.

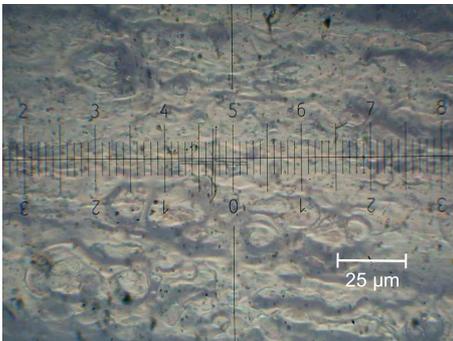


Fig. 3: Surface Analysis after HF-conditioning

Due to the molten surface micro tips are eliminated, so that no significant rise of the electrical field stress occurs. The withstand voltage of the circuit breaker is increased, which can be verified by testing the basic insulation level.

Outlook

With systematical investigations on the circuit breaker model, relations be-

tween the behaviour of the conditioning arc and the measured voltage- and current distribution can be identified. These perceptions can be conferred to conventional vacuum circuit breakers, where an observation of the conditioning arc is not easily possible.

References

- [1] N. Hardt, M. Heimbach, H. Böhme, D. Gentsch: *The Dynamic Voltage/Current Characteristics of Vacuum Arcs after Breakdown at Currents in the lower kHz-range*, ETEP Vol. 12, No.5, September/October 2002
- [2] T. Shioiri, T. Kamikawaji, E. Kaneko, M. Homma, H. Takahashi, I. Ohshima: *Influence of Elektrode Area on the Conditioning Effect in Vacuum*, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 2, No. 2, 1995

Contact

Dipl.-Ing. Bernhard Heil
heil@ifht.rwth-aachen.de
++49 (0) 241 80 9 49 50

Untersuchung der elektrischen Eigenschaften von Isoliermaterialien mit Schaumstruktur

Bei der Entwicklung von Geräten und Anlagen der elektrischen Energietechnik ist neben den klassischen Anforderungen der Funktionalität und der langen Lebensdauer auch eine möglichst leichte und kompakte Bauweise ein immer wichtiger werdendes Kriterium. Die Eigenschaften des Isoliersystems haben hierbei maßgeblichen Einfluss auf die Abmessungen und das Gewicht. Materialien mit Schaumstruktur zeichnen sich durch eine geringe Dichte und eine hinreichend hohe mechanische Festigkeit aus. Sie können deshalb eine interessante Alternative zu den Isolierstoffen darstellen, die heutzutage in der Hochspannungstechnik verwendet werden. Da die elektrischen Eigenschaften dieser sehr vielseitigen Materialgruppe aber bislang nicht systematisch untersucht wurden, müssen diese experimentell ermittelt und miteinander verglichen werden.

Vorauswahl der untersuchten Materialien

Schaumkunststoffe werden heute in vielen unterschiedlichen Anwendungsbereichen eingesetzt. Um aus dem breiten Spektrum an Materialien mit Schaumstruktur eine Vorauswahl treffen zu können, werden folgende Kriterien festgelegt:

1. Die Dichte der Materialien soll geringer sein als bei den heutzutage verwendeten flüssigen Isoliermedien. Als Obergrenze dient die Dichte von Transformatoröl ($0,88 \frac{g}{ccm}$).
2. Der Schaum muss die größtmögliche Anzahl an geschlossenen Zellen enthalten. Das erschwert die Bildung von Durchschlagskanälen im Material und die Ölaufnahme.
3. Eine ausreichende mechanische Festigkeit muss gewährleistet sein. Als unterer Grenzwert wird $1 \frac{N}{mm^2}$ festgelegt.
4. Das Material soll sich durch ausreichende Temperaturbeständigkeit auszeichnen.

Die elektrischen Eigenschaften verschiedener, die Kriterien erfüllender Hartschäume auf Basis von Polyurethan, Polyisocyanurate, Polymethacrylimid, PVC und Phenolharz werden ermittelt. Neben diesen verschäumten Kunststoffen wird als weiteres Material ein syntaktischer Schaum getestet. Bei syntaktischem Schaum handelt es sich um eine Polymermatrix, in die durch einen Mischvorgang Hohlkugeln aus Glas oder Kunststoff eingebracht werden. Die Matrix des hier untersuchten syntaktischen Schaums besteht aus Epoxydharz, die eingemischten Hohlkugeln haben einen Durchmesser von durchschnittlich $50 \mu m$ und bestehen aus Glas. Bild 1 zeigt eine REM-Aufnahme dieses Materials:

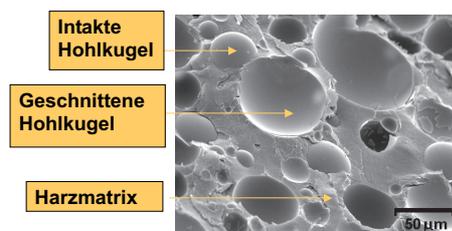


Abb. 1: Aufbau von syntaktischem Schaum

Experimentelle Untersuchungen

Eine wesentliche Untersuchung stellt die Bestimmung der Kurzzeit-Spannungsfestigkeit nach DIN VDE 0303 Teil 20 dar. Um bei den Versuchen Durchschläge im Zwickelbereich der Hochspannungselektrode zu vermeiden, wird diese in Epoxydharz eingebettet. Als weitere Größe wird der spezifische Widerstand der verschiedenen Schäume ermittelt. Gemessen wird mit einer Spannung von 250 Volt bei einer konstant gehaltenen Temperatur von 20⁰C.

Für verschiedene hochspannungstechnische Anwendungen ist die Dielektrizitätskonstante des Materials von Bedeutung. Diese wird für eine Frequenz von 50 Hz mit Hilfe einer tan δ Messbrücke ermittelt.

Die Einsatzmöglichkeiten von Hartschäum sind besonders vielseitig, wenn eine kombinierte Nutzung mit anderen elektrischen Isoliermaterialien, wie zum Beispiel Transformatorenöl, möglich ist. Aus diesem Grund wird auch eine Untersuchung des Ölaufnahmevermögens durchgeführt. Der Testzeitraum beträgt 1000h und gemessen wird die prozentuale Gewichtszunahme in 90⁰C Grad heißem Öl vom Typ Shell Diala G. Referenz ist hier das Abtropfgewicht der Probe zu Beginn des Tests.

Ergebnisse

Unter den 12 getesteten Schäumen haben ein Schaumtyp auf Polyurethanbasis, ein Schaum auf PVC-Basis und der syntaktische Schaum die besten elektrischen Eigenschaften gezeigt. Die Ergebnisse der Untersuchungen für diese

drei Materialien sind in der Tabelle in Abb. 2 aufgelistet:

	PUR-Schaum	PVC-Schaum	Syntaktischer Schaum
Spannungsfestigkeit AC [kV/mm]	7,3 0,5	10 0,6	21,7 2,4
Spannungsfestigkeit DC [kV/mm]	5 0,4	5,8 0,4	34,8 3,3
Spez. Widerstand [Ω m]	$5,7 \cdot 10^{12}$	$3,9 \cdot 10^{14}$	$2 \cdot 10^{14}$
ϵ_r (50Hz)	1,6	2,0	2,7

Abb. 2: Tabelle der elektrische Eigenschaften getesteter Materialien (Angabe der Spannungsfestigkeiten mit 95%-Vertrauensbereich)

Die Kurzzeit-Spannungsfestigkeit der Proben aus syntaktischem Schaum ist mindestens doppelt so hoch wie bei allen anderen untersuchten Schaumtypen und entspricht damit in etwa der Spannungsfestigkeit von Transformatorenöl. Auch der spezifische Widerstand ist einer der höchsten im Test. Im Gegensatz zu den meisten anderen Schäumen im Test ist die Ölaufnahme des syntaktischen Schäume vernachlässigbar klein. Die gemessenen Werte für den Kurzzeitbereich sind vielversprechend, als nächster Schritt muss ermittelt werden, ob bei diesem Material auch eine ausreichende Langzeitstabilität gegeben ist. Gegenstand weiterer Forschung ist ausserdem die Frage des mikroskopischen Schädigungsverhaltens bei elektrischer Überbelastung. Teilentladungsmessungen in Kombination mit REM-Aufnahmen von Schnittbildern elektrisch verursachter Schädigungen sollen klären, ob diese durch Teilentladungsaktivität in den Kugeln oder aufgrund mangelnder Haftung in der Grenzschicht zwischen Kugeln und Harzmatrix entstehen.

Kontakt

Dipl.-Ing. Alexander Tröger
Tröger@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94920

Investigation on electrical properties of isolating materials with a foam-like structure

In many different areas of electrical power engineering, new aspects are taken into account for the design of electrical equipment: apart from the ordinary requirements of functionality and a long economic life-time, a light and compact method of construction is becoming more important. The properties of the insulation system do have a significant affect on the dimension and the weight of the equipment or the facility that has to be developed. Solid-foams are a type of material that feature a low specific density and a relatively high mechanical strength. This is the reason why they can be an interesting alternative to insulation materials that were hitherto used in high voltage applications. In order to find out which material is the most suitable for such a purpose, the electrical properties of different foam types have to be determined and compared.

Preselection of investigated materials

Nowadays, foamed plastics are used in a very wide range of applications. In order to make a preselection out of the variety of different materials with foam-like structure, the following criteria have to be set:

1. The specific density should be lower than the density of fluid insulation materials that are used today. The specific density of transformer oil ($0,88 \frac{g}{ccm}$) is taken as upper limit.
2. Most of the cells building the foam structure should be closed ones. The building of a breakdown channel is more difficult when the gas in a foam is completely enclosed by solid material. There is also less oil absorption.
3. The foam should have a sufficient mechanical strength, here at least $1 \frac{N}{mm^2}$.
4. The material should have a sufficient thermal stability.

According to these criteria, solid foams based on polyurethane, polyisocyanurate, polymethacrylimide, pvc and phenolic resin are chosen for further investigation and determination of the electrical properties. Additionally a syntactic foam is tested. Syntactic foams consist of a polymeric material and hollow spheres made out of glass or plastic that are mixed into the material in order to get a foam-like structure. The polymer matrix of the syntactic foam investigated here is out of epoxy resin. The hollow spheres are made out of glass, the mean diameter of these spheres is about $50 \mu m$. Figure 1 is a SEM-picture and shows the microscopic structure of this material:

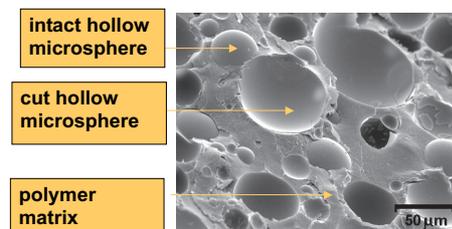


Abb. 1: microscopic structure of syntactic foam

Experimental part of the investigation

The electrical strength on a short-time basis is measured, the experiments are carried out according to the VDE standard 0303, part 21 in order to guarantee comparableness. The high voltage electrode is embedded in epoxy resin. This is done for the prevention of breakdowns in the inhomogenous outer margin of the high voltage electrode.

Another important electrical property is the specific resistance of the materials. The setup for the experiments can be taken from the VDE standard 0303, part 30. The voltage applied in the experiments is 250 V, the tests are carried out in a climatic chamber with a constant temperature of 20⁰C.

For many high voltage application the dielectric constant of the materials is significant. The dielectric constant is measured with a tan δ bridge for a frequency of 50 Hz.

Foam-type materials can be employed in a very versatile way, especially if they can be used in combination with other electrically insulating materials as for example tranformer oil. Therefore samples of the materials are stored in tranformer oil (Shell Diala G)with a temperature of 90⁰C for a testing period of 1000 h. During this testing-period, the weight of the sample is measured and compared with the weight of the sample at the beginning of the test.

Results

12 materials were tested and one foam based on polyurethane, one based on pvc and the syntactic foam showed the best results. The properties measured are listed in table 2:

	PUR-foam	PVC-foam	Syntactic foam
Electrical strength AC [kV/mm]	7,3 ± 0,5	10 ± 0,6	21,7 ± 2,4
Electrical strength DC [kV/mm]	5 ± 0,4	5,8 ± 0,4	34,8 ± 3,3
Specific resistance [Ω m]	5,7*10 ¹²	3,9*10 ¹⁴	2*10 ¹⁴
ϵ_r (50Hz)	1,6	2,0	2,7

Abb. 2: Table with measured electrical properties (electrical strength together with confi dence interval)

The measured short-time electrical strength for the samples made out of syntactic foam exceeds the electrical strength of the other foam types by a factor of two at least and is comparable to the electric strength of tranformer oil. The specific resistance is also one of the higher values in the test. In contrast to almost all other foams the weight gain of the syntactic foam samples due to the storage in oil is neglegible. Considering all materials tested in this investigation, the syntactic foam is the one with the best electrical properties. The short-time test results are promising. As a next step, the longterm stability of the material has to be assured in adequate tests. Also, further research will be done concerning microscopic deterioration inflicted by overvoltages. Partial discharge measurements combined with pictures of electrical trees taken by SEM-microscopes are supposed to clarify if deterioration in the material is generally caused by partial discharge activity inside the microspheres or due to desiderative adhesion between the microspheres and the polymer matrix.

Kontakt

Dipl.-Ing. Alexander Tröger
Troeger@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94920

Automatisierte Ultraschalldiagnostik zur Zustandsbewertung elektrischer Betriebsmittel

Die Zustandsbewertung des Isolationssystems eines elektrischen Betriebsmittels - beispielsweise im Rahmen einer Qualitätskontrolle - ist eine wichtige Voraussetzung für einen zuverlässigen Betrieb über einen hinreichend langen Zeitraum. Es zeigt sich, dass die Ultraschall-Diagnostik zur Untersuchung von Isoliermedien, insbesondere von Isolatoren und Isolierkörpern von Hochspannungsmuffen bestens geeignet ist. Laufende Untersuchungen beschäftigen sich mit der erreichbaren Auflösbarkeit von Inhomogenitäten und der Automatisierung des Messprozesses.

Einleitung

Bei Betriebsmitteln der Energietechnik stellen Inhomogenitäten stets potenzielle Gefahrenpunkte für das elektrische Isoliertesystem dar. Aus diesem Grund ist es notwendig, Messverfahren zur Verfügung zu stellen, die ein möglichst umfassendes Bild vom Zustand des Isoliermaterials liefern. So kommt neben der Detektion und Lokalisation besonders der Evaluation von Inhomogenitäten eine besondere Rolle zu. Gegenstand der laufenden Untersuchung ist zum Einen die Weiterentwicklung des automatisierten Messprozesses umfassend den Aufbau von geeigneten Messsystemen und die Entwicklung von Tools zur benutzerunabhängigen Datenverarbeitung und -analyse, zum Anderen die Ausweitung des Anwendungsspektrums der Ultraschalltechnik auf andere Betriebsmittel der elektrischen Energietechnik.

Experimentelle Untersuchungen

Die genaue Kenntnis von Material- und Prüfkopfkonstruktionsgrößen ist eine elementare Voraussetzung für die Weiterentwicklung bestehender sowie die Erforschung neuer Anwendungen der

Ultraschalldiagnostik und relevant für Rekonstruktionsalgorithmen zur Evaluation von Fehlstellen. So hängt beispielsweise das Auflösungsvermögen des Systems vom verwendeten Prüfkopf ab, insbesondere von dessen Durchmesser, Frequenz, Bandbreite und Schallfeld. Entsprechende Messungen zeigen die Anwendungsmöglichkeiten von unterschiedlichen Prüfköpfen. Das gemessene Schallfeld (Schalldruck) eines Prüfkopfes ist in Abbildung 1 dargestellt.

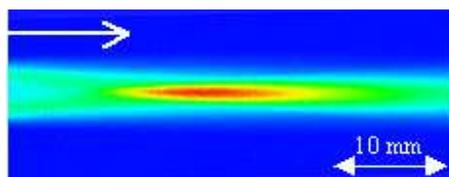


Abb. 1: Schallfeld eines Wandlers

Durch die Entwicklung eines Ultraschall-Multiplexers ist es möglich geworden, mehrere Prüfköpfe für eine Messung zu verwenden, wodurch die Geschwindigkeit des Messvorganges erhöht wird. Darüber hinaus kann die Fehlerbewertung verbessert werden, indem durch Beschallung unter verschiedenen Winkeln eine Information über die Fehlstellenausdehnung in Messrichtung gewonnen werden kann. In ersten Messungen werden deswegen Silikonkautschuk-Prüfkörper

mit Objekten hergestellt, die eine größere Ausdehnung in Messrichtung besitzen als senkrecht dazu (siehe Abb. 2, links). Der Prüfkörper wird unter verschiedenen Winkeln beschallt und der jeweilige maximale Amplitudenwert ausgewertet. In Abbildung 2 ist auf der rechten Seite die Abhängigkeit des Amplitudenwertes vom Prüfwinkel α aufgetragen.

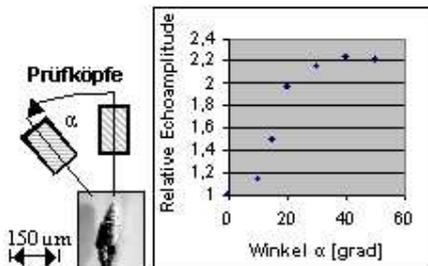


Abb. 2: Abhängigkeit der Reflexion vom Einschallwinkel

Wie erwartet steigt der Wert mit größeren Winkeln, da sich dem Schallimpuls eine größere Reflexionsfläche bietet. Das Ergebnis zeigt, dass es möglich ist, mittels Winkelbeschallung eine Aussage über das Verhältnis der lateralen Fehlstellenausdehnung zur Ausdehnung in Tiefenrichtung zu treffen.

Messdatenverarbeitung

Um die Detektion von Fehlstellenstrukturen zu erleichtern und ihre Bewertung präzisieren zu können, ist es notwendig, das Messdatenfeld aufzubereiten, ohne die darin enthaltene Information zu verändern. Prinzipiell enthält ein solches Feld abgesehen von Eintrittspeak und gegebenenfalls Rückwandpeak Informationen über die Geometrie eventueller Fehlstellen im Material und ein additives Rauschen. Da der Prüfkopf zumeist größer als die Fehlstelle ist, wird die geometrische Information beim Scanvorgang verzerrt. Um den Einfluss des Rauschens auf die verzerrten geometrischen, al-

so 3-dimensionalen Informationen zu verringern, werden Algorithmen implementiert, die die Möglichkeit zur 3-dimensionalen Filterung schaffen. Sie beruhen auf einer diskreten Faltung im Zeitbereich mit variablen Faltungsoperatoren und berücksichtigen so Informationen benachbarter Messpunkte beim Filtervorgang. Je nach Operator-Eigenschaften können unterschiedliche Effekte erzielt werden, beispielsweise eine Kantenbetonung.

Anwendung der Ultraschall-Diagnostik

Eine neue Anwendung der Ultraschalltechnik ist die Untersuchung von Grenzschichten zwischen Polymeren. Dabei spielen insbesondere Ablösungen von Materialien eine Rolle, wie sie beispielsweise bei GFK-Isolatoren (Abb. 3) auftreten können [1].

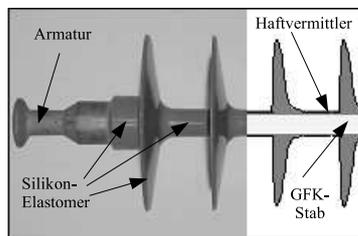


Abb. 3: Verbund-Isolator

Kommt es hier während der Produktion zu einem makroskopischen Fehler, kann die elektrische Festigkeit des Isolators im Betrieb unerwartet schnell absinken. Diese Fehler sind mit herkömmlichen Verfahren unter vertretbarem Aufwand kaum zu detektieren. Solche Ablösungen lassen sich mittels Ultraschall über die Auswertung des gemessenen Ultraschallechos detektieren. Die Grenze der Detektierbarkeit wird durch die Größe der Ablösung bestimmt. Allerdings zeigt sich, dass besonders für den Fall, dass sich eine Gasschicht zwischen den Komponen-

ten befindet, die Detektion ohne Weiteres möglich ist.

Eine weitere Anwendung der Ultraschall-Diagnostik ist die automatisierte Bewertung von Hochspannungskabelmuffen [2]. Um Muffen effizient und mit hoher Genauigkeit automatisiert vermessen zu können, werden verschiedene Anforderungen an einen neuen Messstand gestellt. Zunächst bietet es sich an, diesen auf Muffen angepassten Messstand als mobilen Messstand auszulegen. Darüber hinaus soll die Muffe möglichst einfach in den Messstand eingesetzt werden können. Auch ein vollständiges Untertauchen der Muffe in Wasser, wie bei der klassischen Tauchtechnik üblich, soll verhindert werden.

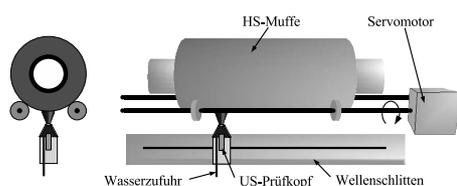


Abb. 4: Muffenmessstand (Skizze)

Hierzu wird die Muffe mittenfrem auf drehbaren Rollen gelagert, die mit der Drehachse eines Positioniersystems verbunden sind. So ist das Einlegen der Muffen in den Messstand unkompliziert. Um das Untertauchen der Muffe in Wasser zu verhindern, wird ein am Institut konstruierter Fließwasserprüfkopf verwendet. Bei diesem ist der Ultraschallwandler in einer Wasserdüse integriert und koppelt durch einen feinen Wasserstrahl den Schall in das Prüfobjekt ein. So kommt es ausschließlich zu einer lokalen Benetzung. Um die gewünschte mäanderförmige Scanbewegung zu erreichen, ist der Prüfkopf mit einer Linearachse des Positioniersystems verbunden, welche parallel zur Muffendrehachse montiert ist (Abb. 4). Diese Achse wird durch einen Servomotor angetrieben, wodurch der Messvorgang nun bei

kontinuierlich verfahrenem Prüfkopf durchgeführt wird, was die bisherige langsame und vibrationsreiche Messung in Einzelschritten ablöst. Dieser Messaufbau ist durch ein Gebrauchsmuster geschützt.

Ausblick

Gegenstand künftiger Untersuchungen ist unter anderen die Entwicklung von Auswertungsalgorithmen, welche aus den Ultraschall-Messdaten die geometrische Information rekonstruieren, sowohl bei lateraler Beschallung als auch bei Beschallung unter einem definierten Winkel. Ebenfalls soll näher die Auflösbarkeit von Mikro-Strukturen betrachtet werden und ein Vergleich der Fehlstellendetektierbarkeit mittels Ultraschall mit der mittels Teilentladungsmessung durchgeführt werden.

Quellen

- [1] N. Kurda, *Anforderungsprofil von Silikonelastomeren aus verfahrenstechnischer Sicht*, ETG-Fachbericht 97, 2003
- [2] C. Cornelissen, T. Wirz, P. Walter, A. Schnettler, *Automatisierte Ultraschalldiagnostik zur Zustandsbewertung elektrischer Betriebsmittel*, ETG-Fachbericht 97, 2004

Kontakt

Dipl.-Ing. Philipp Walter
 Walter@ifht.rwth-aachen.de
 ++49/(0)241/80-94941

Dipl.-Ing. Torsten Wirz
 Wirz@ifht.rwth-aachen.de
 ++49/(0)241/80-94910

Automated Ultrasonic Diagnostics for Condition Assessment of Electrical Devices

The condition assessment of an electrical insulation system - e.g. for quality assurance - is an important requirement for a long time of reliable operation. It turned out that ultrasonic diagnostic methods are best suited for the condition assessment of insulation materials, in particular for isolators and high voltage cable joints. Current research activities deal with the maximum possible resolution of inhomogeneities and the automation of the measurement procedure.

Introduction

Inhomogeneities in system equipments are always potential weak points for the electrical insulation system. Therefore, it is necessary to provide measurement processes which are able to afford a condition assessment of the insulation material. In addition to detection and localisation, the evaluation of the inhomogeneities is a vital part of a detailed inspection. Present investigations relate to advancements of the automated measurement system containing the setup of appropriate measurement procedures and the development of user-independent tools for data processing and analysis. Further, the utilisability of the ultrasonic diagnosis for different applications in the field of power engineering is investigated.

Experimental Investigations

The exact knowledge of material and transducer characteristics is an essential precondition for a further development of existing and an exploration of new applications of the ultrasonic condition assessment as well as relevant for reconstruction algorithms for flaw evaluation. For example, the resolution of the ultrasonic system depends on the used transducer, particularly on the probe diameter, frequency, band-

width and sound field. Measurements show the possible appliances of different probes. The measured sound field (acoustic pressure) of a transducer is shown in Fig. 1.

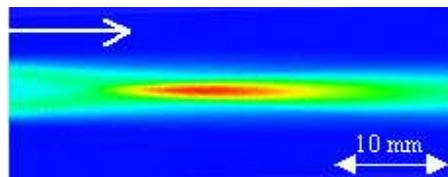


Fig. 1: Transducer sound field

By developing of a multiplexer for ultrasonic probes, it is now possible to use multiple probes during one single measurement, which can result in a decreased measurement time. Furthermore, to improve the fault evaluation, the test sample can be exposed to ultrasound at different angles. Due to information regarding the extension in depth direction can be gained. In first measurements, silicone elastomer test samples which contain small longish objects are made (see Fig. 2, left). The test samples are then exposed to ultrasound at different angles, measuring the maximum echo amplitude. Figure 2 shows on the right side, the dependency of the echo amplitude on the measurement angle α .

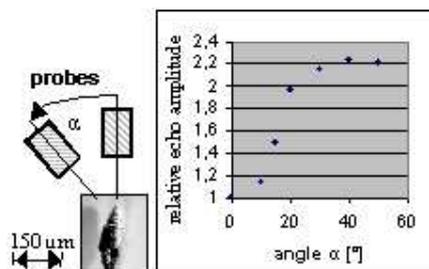


Fig. 2: Dependency of the reflection on the sound angle

The echo amplitude increases at raising angles, as expected. The result shows the possibility by using multiple probes and different angles to obtain fault information concerning the relation of extension in depth direction to the extension parallel to the surface.

Data Processing

To ease the detection of inhomogeneities and precise their evaluation, it is necessary to process the data field without manipulating the contained information. Basically, such a field contains in addition to a surface signal and possible back wall signal, information about the geometry of inhomogeneities plus a noise. Due to the fact that in most cases the probe diameter is bigger than the flaw, the geometric information is blurred by the scanning process. To reduce the influence of the noise on the geometrical (3-dimensional) data, algorithms performing a 3-dimensional filtering are implemented. They use a discrete convolution product in time domain with variable operators, to consider the information of neighbour data points for the filtering. Depending on the operator characteristics, different effects can be attained, e.g. a low-pass filtering or a contour enhancement.

Applications of Ultrasonic Diagnostic Processes

An innovative application of the ultrasound technique is the condition assessment of material interfaces between polymerics, particularly the investigation of delaminations, which can appear for example at compound isolators (Fig. 3) composed of a GRP core and a silicone rubber cover [1].

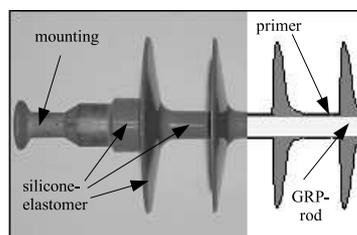


Fig. 3: Compound isolator

Macroscopic debonding faults occurring during production can significantly decrease the isolator's life expectancy. These faults are hardly detectable with conventional methods. Using ultrasound, such delaminations can be detected by evaluating the measured ultrasonic impulses reflected at the boundary. The limit of the detectability is determined by the size of the delamination. It turned out that especially in the case that a gas layer is existent between the two components, the detection is easily possible.

Another application of the ultrasonic diagnosis is the automated evaluation of high voltage cable joints [2]. To perform an efficient and accurate automated measurement, various demands to a new measurement setup are posed. It is suggested to design a portable measurement setup, adopted to measure high voltage cable joints. Furthermore it should be easy to insert the joint in the assembly. Moreover, a complete submersion of the joint into water shall be avoided.

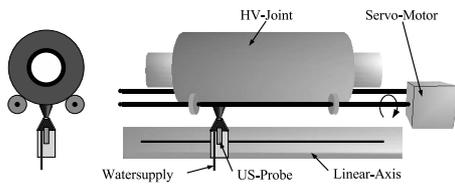


Fig. 4: Cable joint measurement setup

For this purpose, the joint is supported on rotatable rolls which are connected to a positioning system. Thus, the insertion of the joint is eased. To avoid the complete submersion, a self designed waterflow probe is used. In this probe, the transducer is placed in a water nozzle and the ultrasound is coupled through the jet of water into the test device, only locally wetting the surface. To achieve a meander like scanning movement, the probe is fixed to a linear axis of the positioning system which is parallel to the center axis of the joint (Fig. 4). This axis is moved by a servo motor, so that the measurement movement can be made by continuously moving the probe. This replaces the measurement with high vibrations that occur by measuring in single step mode. The setup is protected by a utility patent.

Outlook

Objectives of future investigations are the further development of the automated measurement procedure, containing a scanning at different angles

and the development of analysis algorithms which are capable to reconstruct the actual geometric information of inhomogeneities from the measured data taken from lateral scanning. Also, the resolution of micro structures will be investigated and a comparison between the detectability using ultrasound and using partial discharge measurements will be drawn.

References

- [1] N. Kurda, *Anforderungsprofil von Silikonelastomeren aus verfahrenstechnischer Sicht*, ETG-Fachbericht 97, 2003
- [2] C. Cornelissen, T. Wirz, P. Walter, A. Schnettler, *Automatisierte Ultraschalldiagnostik zur Zustandsbewertung elektrischer Betriebsmittel*, ETG-Fachbericht 97, 2004

Contact

Dipl.-Ing. Philipp Walter
Walter@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94941

Dipl.-Ing. Torsten Wirz
Wirz@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94910

Orientierende Untersuchungen zum Überschlagverhalten von mit Nanopartikeln beschichteten Isolierstoffoberflächen

*Es ist hinlänglich bekannt, dass das Überschlagverhalten von Isolierstoffen wesentlich durch den Zustand der Materialoberfläche bestimmt wird. Zur Verhinderung von Überschlägen in kompakten Hochspannungsisoliersystemen ist es von besonderer Bedeutung, eine hydrophobe Oberfläche der elektrischen Isolieranordnungen zu erzeugen. Mit neu entwickelten Nanopartikeln kann der **Lotus-Effect**[®] (Ultrahydrophobie) auf Isolierstoffe übertragen werden. Insbesondere hinsichtlich der Langzeitstabilität derartiger Beschichtungen werden das Überschlagverhalten und die Alterungsprozesse im Rahmen dieser Arbeit genauer untersucht.*

Einleitung

Klassische Isolierstoffe, wie z.B. Porzellan oder Glas, werden seit mehr als einem Jahrhundert in Freiluft- und Innenraumbereichen angewendet. Hochspannungsisolatoren mit einer Beschirmung aus Silikonelastomer (SiE) kamen erstmals in den sechziger Jahren zum Einsatz [1]. Neben der Reduzierung des Gewichts sowie der Vereinfachung des Produktionsprozesses, ist die Erzeugung hydrophober Oberflächen durch solche Verbundstoffe von großer Bedeutung, obwohl die Hydrophobie damals als Auswahlkriterium keine Rolle spielte. Die hydrophoben Isolieroberflächen haben den Vorteil, dass auftreffende Wassertropfen durch die Wechselwirkung zwischen Wasser- und Werkstoffmolekülen an der Grenzfläche und die damit verbundene geringe Grenzflächenspannung einen Randwinkel von mehr als 90° aufweisen und somit leicht von der Oberfläche abrollen. Daher kann das Entstehen einer Fremdschicht aufgrund von Umwelteinflüssen, wie z.B. Verschmutzung in Verbindung mit Feuchtigkeit, vermindert werden. Demzufolge ist zu erwarten, dass die Überschlagspannung

im Betrieb bei Auftreten einer Fremdschicht weniger stark abnimmt.

Lotus-Effect[®] und Nanotechnologie

Eine Möglichkeit zur Verminderung von Überschlägen ist dementsprechend eine Erhöhung der Hydrophobie. Dies kann durch Aufbringen spezieller organischer Schichten auf der Isolierstoffoberfläche geschehen. Einen vielversprechenden Ansatz stellt dabei vor allem die Applikation von derartigen Beschichtungen mit gezielten Strukturen dar, die eine extrem feine Rauigkeit im Nanometerbereich aufweisen. Derartige ultrahydrophobe Oberflächen werden als **Lotus-Effect**[®]-Oberflächen bezeichnet [2]. Um solche Oberflächen mit einem Randwinkel größer als 150° zu realisieren, sind sowohl die Hydrophobierung als auch die Nanostrukturierung der polymeren Isolierstoffoberflächen erforderlich. Erste Randwinkelmessungen an derartigen Oberflächen haben bestätigt, dass eine extrem niedrige Grenzflächenspannung vorliegt und damit eine sehr geringe Benetzbarkeit realisiert wird.

Aufbau des Versuchstandes

Um das Überschlagverhalten insbesondere unter Langzeitbelastung zu ermitteln, werden weitergehende experimentelle Untersuchungen an zylindrischen Modellprüfkörpern im quasi-homogenen elektrischen Feld bei Wechselspannungsbeanspruchung durchgeführt. Kalt- bzw. Salznebel, die mittels eines Verneblers realisiert werden, simulieren die kritischen Betriebsbedingungen realer Anordnungen (Abb. 1 und Abb. 2).

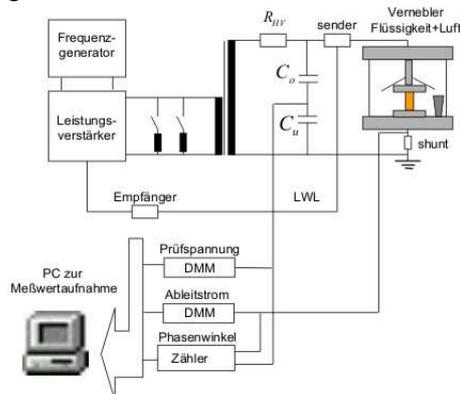


Abb. 1: Versuchsaufbau zur Ermittlung des Überschlagverhaltens von Modellprüfkörpern

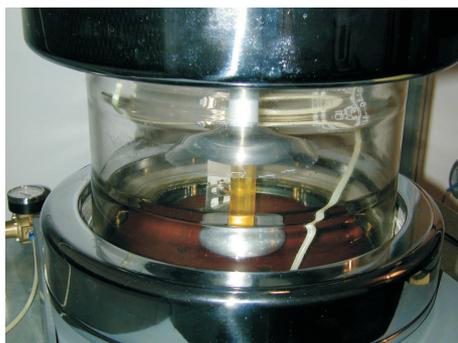


Abb. 2: Modellprüfkörper zwischen Elektrodenanordnung

Um den Einfluss der Hydrophobieeigenschaft der Oberflächen zu charakterisieren, werden elektrische Kenngrößen, wie beispielsweise der Ableit-

strom, die Prüfwechselfspannung und der dazugehörige Phasenwinkel, kontinuierlich rechnergesteuert erfasst und bewertet.

Ausblick

Die vorliegenden Messergebnisse sollen mit der entsprechenden Anordnung ohne Nanobeschichtung verglichen werden. Im weiteren Vorgehen werden Analysen zum Langzeitverhalten durchgeführt, da die Beständigkeit derartiger nanostrukturierter Beschichtungen bisher noch nicht optimal ist.

Ein weiterer wesentlicher Punkt ist die Überprüfung der Übertragbarkeit auf industriell gefertigte und mit Nanopartikeln behandelte Isolatoren.

Quellen

- [1] H. Janssen: *Ursache und Lebensdauer der Hydrophobie polymerer Werkstoffe für Hochspannungs-Freiluftisolatoren*, Dissertation TU Braunschweig, Shaker-Verlag Aachen, 2001
- [2] W. Barthlott: *Selbstreinigende Oberflächen von Gegenständen sowie Verfahren zur Herstellung derselben*, Europäische Patent (EP 0772514), Europäisches Patentamt, 1995

Kontakt

M. Sc. Junliang Wu
 Wu@ifht.rwth-aachen.de
 ++49/(0)241/80-94924

Basic investigations on the flashover performance of insulation surfaces coated with nano-particles

It is well known that the flashover performance of insulation materials is substantially determined by the surface conditions. To overcome the flashovers in compact high voltage insulation systems, it is of particular importance to create hydrophobic surfaces in the electrical insulation configurations. So-called Lotus-Effect[®] (ultrahydrophobicity) can be realized on the insulation surfaces using lately developed nano-particles. Especially in term of the long-term-stability of such coatings, the investigations on the flashover performance and aging mechanism are carried out during this research.

Introduction

Classical insulation materials, such as porcelain or glass, have been used outdoors and indoors for more than a century. High voltage insulators with silicon rubber sheds appeared already in the 60s [1]. In addition to reducing the weight and simplifying the process of manufacture, it is of great importance to create a hydrophobic surface with a variety of composites, even though the hydrophobicity was not taken into consideration by choosing the insulation materials at that time. The hydrophobic insulation surface has an advantage in preventing the occurrence of a water film on the insulators. The appeared water drops has a contact angle more than 90° because of the interaction between the water and insulation material molecules on the interface, which has a very low surface energy. Consequently the water drops rolled easily off. Thus the weather influences, e.g. rain or fog, on forming a water film, can be diminished. As a result, the flashover voltage at operation conditions does not decrease as much as before.

Lotus-Effect[®] and nanotechnology

Accordingly, one method to overcome the flashovers is increasing the hydrophobicity of the surfaces. It can be achieved through a special organic coating attached to the insulation material surfaces. One of the approaches is application of the ultrahydrophobic surface, which has a roughness in range of nanometers and is described as Lotus-Effect[®]-surface [2]. In order to realize such surface with a contact angle greater than 150°, it is necessary to make the surface hydrophobic, as well as to create nanostructures on the polymer insulation material surface. The first contact angle measurement has shown that such a coating has an extreme low surface energy and is marginally wettable.

Measurement setup

To investigate the AC voltage flashover performance, particularly under long term stress, experiments on cylindrical test specimens are carried out using a quasi uniform electrical field. The critical environmental conditions, e. g.

cold- and salt-fog, are simulated in this measurement setup (Fig. 1 and Fig. 2).

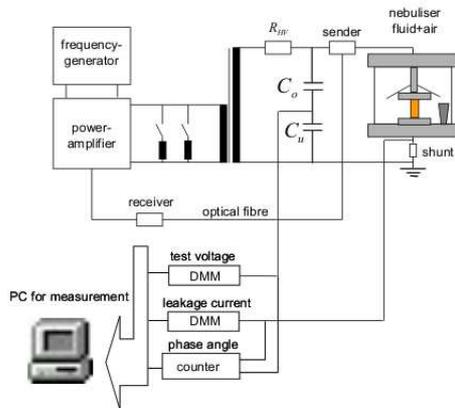


Fig. 1: Measurement setup to investigate the flashover performance of test specimens

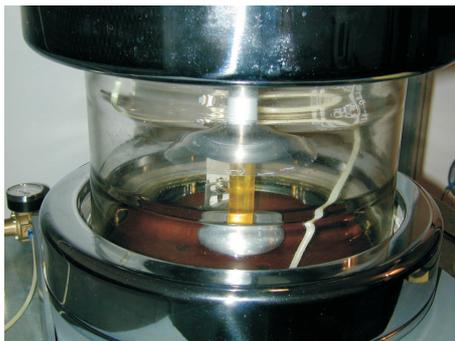


Fig. 2: Test specimens between electrodes
Electrical parameters, for example the leakage current, the test voltage and the corresponding phase angle, are continuously collected and evaluated by computer, so as to characterize the impact on the hydrophobicity of insulation surfaces.

Outlook

The results of the measurement will be compared with the case without nano-coatings. In further investigations evaluations of the long term performance are to be executed, because the stability of such nanostructured coatings is still not optimal. It is also required to examine, whether the results based on the test specimens can be transferred to the real insulators treated with such nanoparticles at industry.

References

- [1] H. Janssen: *Ursache und Lebensdauer der Hydrophobie polymerer Werkstoffe für Hochspannungs-Freiluftisolatoren*, Dissertation TU Braunschweig, Shaker-Verlag Aachen, 2001
- [2] W. Barthlott: *Self-cleaning surfaces of objects and process for producing same surfaces*, European Patent (EP 0772514), European Patent Office, 1995

Contact

M. Sc. Junliang Wu
Wu@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94924

Einsatz dezentraler Stromerzeugungstechniken in elektrischen Verteilungsnetzen unter ökologischen Rahmenbedingungen

Wesentliches Ziel einer nachhaltigen Energieversorgung ist die Minimierung des Ressourcenverbrauches bei bedarfsgerechter und wirtschaftlicher Verfügbarkeit elektrischer Energie. Dabei wird sich in Zukunft die Struktur elektrischer Verteilnetze anpassen müssen, sofern es zu einer (prognostizierten) starken Zunahme der Einspeisung aus dezentralen, regenerativen Stromerzeugungseinheiten kommen wird. Bislang ist allerdings noch nicht geklärt, für welche Lastprofile und -dichten solche Systeme effizient und ökologisch sinnvoll eingesetzt werden können.

Politische, gesellschaftliche und technische Rahmenbedingungen

Bis zum Jahr 2010 müssen in Deutschland 12,5% des Stroms aus erneuerbaren Energien erzeugt werden. Im Jahr 2020 ist ein Anteil von 20% zu erfüllen. Das Kyoto-Protokoll fordert die Reduzierung von Treibhausgasemissionen innerhalb der EU im Zeitraum von 2008 bis 2012 um mindestens 8% der CO₂-Äquivalente bezogen auf 1990. Für Deutschland ist eine Reduzierung um mindestens 21% erforderlich. Zusätzlich müssen bis zum Jahr 2020 etwa 50% der mit konventionellen Kraftwerken installierten Leistung aus Altersgründen und aufgrund der Richtlinie, dass die vorhandenen Kernkraftwerke nur noch bis zum Jahr 2020 zur Stromversorgung beitragen dürfen, ersetzt werden. Daneben müssen überalterte Betriebsmittel ausgetauscht werden. Das bedeutet, dass ein kurzes Zeitfenster für eine systematische und ökologisch angesetzte Bewertung neuer Technologien besteht.

Einfluss der Schaltanlagentechnologie auf die Ökobilanzierungsergebnisse in Verteilungsnetzen

Die Umweltauswirkungen der Stromverteilung unter Nutzung unterschiedlicher Schaltanlagentechnologien wird im Rahmen einer Studie [1] für ein Verteilungsnetz städtischer (10 kV Ebene) und ländlicher (20 kV Ebene) Prägung mit Hilfe einer Ökobilanz untersucht. Die betrachteten Netze sind idealisiert, beruhen jedoch auf realen Lastprofilen (Abb. 1).

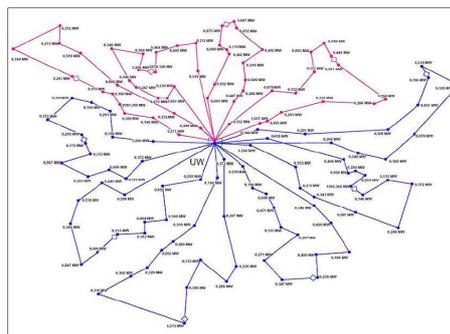


Abb. 1: Topologie eines städtischen Verteilnetzes

Als Rahmenbedingung wird vorausgesetzt, dass im städtischen Netz ausschließlich Mittelspannungskabel verwendet werden, während im ländlichen

Netz sowohl Kabel als auch Freileitungen zum Einsatz kommen. Netzcharakteristika werden in Abb. 2 dargestellt.

	Städtisch	Ländlich
Spannungsebene	10 kV	20 kV
Versorgungsgebiet	12 km ²	51 km ²
Lastdichte	3,0 MW/km ²	0,5 MW/km ²
Verlustrarbeit	1,52 GWh/a	1,12 GWh/a
Netzlänge	56,2 km	106,8 km

Abb. 2: Netzübersicht

Für jede der beiden Netzvarianten erfolgt jeweils eine Ökobilanzierung einer "AIS" Netzvariante (luftisolierter Technik der Freiluftschaltanlagen) sowie einer "GIS" Netzvariante (SF₆-gasisolierte Schaltanlagentechnologie). Bei der Bilanzierung wird die Herstellung der Schaltanlagen, der Betrieb im Verteilungsnetz und im Fall von GIS Anlagen, das Recycling von SF₆ bei Außerbetriebnahme der Anlagen berücksichtigt. Instandhaltungsaufwendungen und die Entsorgung der Anlagen nach ihrer Nutzungsdauer bleiben vernachlässigt.

Das Beispiel der Umweltwirkungskategorie GWP₁₀₀ (Global Warming Potential) zeigt, dass für die städtische Netzvariante ca. 91% (AIS) bzw. 92% (GIS) des Gesamtbeitrags zum Treibhauspotenzial alleine durch die Verlustrarbeit der übrigen Netzkomponenten, die sich hier aus Kabeln und Transformatoren zusammensetzen, anfallen. Die Schaltanlagen haben lediglich einen Anteil an den Gesamtemissionen in Höhe von 10,4% (AIS) bzw. 7,4% (GIS). Darin sind die Herstellung und die Verlustrarbeit der Schaltanlagen sowie bei der GIS-Variante auch der Beitrag der SF₆-Emissionen in Höhe von 1,4% enthalten (Abb. 3).

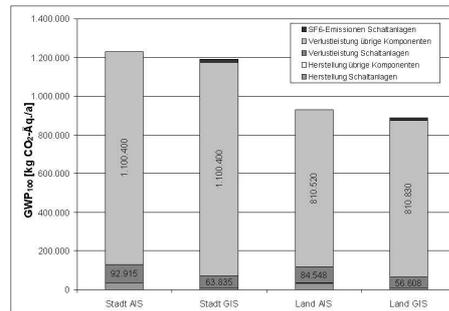


Abb. 3: Treibhauspotential GWP₁₀₀ Verteilnetze 'Stadt/Land'

Die GIS-Variante schneidet in Bezug auf das Treibhauspotenzial um 3,2% besser als die AIS-Variante. Wesentlicher Aspekt ist jedoch, dass das Hauptziel einer nachhaltigen Energieversorgung die Minimierung der Verlustleistung sein sollte.

Minimierung der Strom-Wärme-Verluste durch dezentrale Einspeisung in Verteilungsnetzen

Dezentrale Strom- und Wärmeerzeugungsanlagen (DEA) können nachhaltige Effekte durch Ihren Einsatz in dezentralen Verteilungsnetzen haben, wenn sie einen signifikanten Beitrag zur Minimierung der Strom-Wärme-Verluste im Verteilungsnetz leisten [2]. Anhand eines Ausschnitts eines Verteilungsnetzes einer Großstadt (Abb. 4) wird für reale Lasten simuliert, welchen Einfluss der Einsatz dezentraler Stromerzeugung aus Brennstoffzellen, Blockheizkraftwerken und Mikroturbinen auf die Strom-Wärme-Verluste theoretisch haben kann.

Ausschnitt eines großstädtischen Verteilungsnetz	
Gesamtnetzlänge	83 km
Versorgungsspannung	11 kV
Maximallast aller Verbraucher	7,6 MW

Abb. 4: Netzcharakteristika

Der Netzausschnitt hat Anbindung an 2 HS-Netzeinspeisungen. Die Lastprofilverteilung wird realitätsnah angenähert (Abb. 5).

Lastprofil	Anteil am Gesamtnetz
Industrie	50%
Haushalt	31%
Handel/Gewerbe	17%
Landwirtschaft	2%

Abb. 5: Lastprofilverteilung

Bei den Simulationen werden die spezifische Einspeiseleistung pro Lastknotenpunkt (LKP), der Ort der Einspeisung und der Grad der Wärmenutzung variiert. Die Vorgehensweise bei der Zuweisung der optimalen DEA-Teilgröße je Lastprofil ist in Abb. 6 beispielhaft für ein Profil mit der Maximalleistung von 60 kW dargestellt.

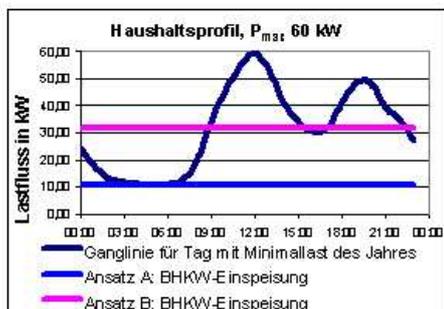


Abb. 6: Anlagengröße einer DEA für ein Haushaltslastprofil

Dabei wird nach Ansatz A die Grundlast an jedem LKP abgedeckt. Bei Ansatz B erfolgt eine Abdeckung der mittleren Tageslast. In beiden Fällen wird von einer 100% Wärmenutzung ausgegangen. Die reine Grundlastdeckung wird hier mit 10 kW gewährleistet. Die mittlere Tageslast dieses Haushaltsknotenpunktes beträgt 33 kW. Abhängig von der abzudeckenden Last wird eine entsprechende DEA installiert, die diese Last abdeckt. Analog erfolgt die Zuordnung für alle Lasten im betrachte-

ten städtischen Versorgungsnetz. Die durchschnittliche Tagesverlustarbeit ergibt sich durch Lastflussuntersuchung für den gesamten Netzausschnitt je nach installierter Gesamtleistung durch DEA (Abb. 7), wenn an jedem LKP eine DEA installiert ist.

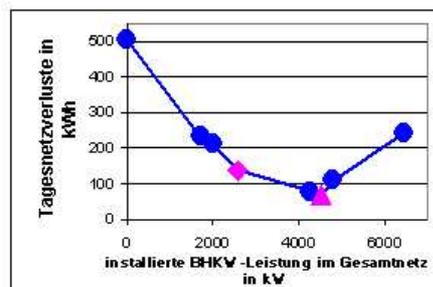


Abb. 7: Tagesverlustarbeit

Es ist zu erkennen, dass es nicht sinnvoll ist, beliebig große Leistungen dauerhaft mit DEA bereitzustellen. Bei einem zu großen Durchdringungsgrad mit DEA sorgt die Lastflussumkehr dafür, dass die Tagesverlustarbeit weniger stark reduziert wird. Aus der Kennlinie geht hervor, dass unter den angenommenen Voraussetzungen theoretisch eine signifikante Reduzierung der Stromwärmeverluste möglich ist. Nach Ansatz A mit reiner Grundlastdeckung und DEA an jedem LKP bei 100% Wärmenutzung liegt diese bei 73% auf 137 kWh. Mit dem Szenario nach Ansatz B ist theoretisch sogar eine Reduzierung um 86% auf 68 kWh möglich. Bei den Szenarien werden jedoch nicht Kriterien wie die Brennstoffversorgung, die Anlagenverfügbarkeit, die Lebensdauer, etc. berücksichtigt.

Bei Deckung der mittleren Tageslast mit DEA unterschiedlicher Leistungsklassen am für die Leistungsklasse optimalen Ort ergibt sich unter vollständiger Nutzung der Abwärme folgende Verlustarbeit (Abb. 8).

Leistungsklasse der DEA	Anzahl der eingesetzten DEA	Verlustrarbeit
100 kW	45	51 kWh
250 kW	18	62 kWh
500 kW	9	134 kWh

Abb. 8: Tagesverluste bei Einsatz der DEA am optimalen Ort

Der Ansatz, der einem realen Einsatz am nächsten liegt, beinhaltet die Abdeckung einiger mittlerer Tageslasten bei Aufstellung der DEA am optimalen Ort. Die Abwärme wird zu 100% genutzt. Auch unter dieser Voraussetzung ist theoretisch bei einer Lastdeckung von 1 MW mit vier 250 kW DEA eine Reduzierung auf 330 kWh und mit zwei 500 kW DEA eine Reduzierung auf 360 kWh Verlustrarbeit möglich (Abb. 9).

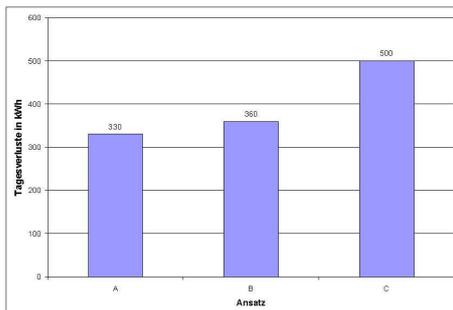


Abb. 9: Tagesverluste bei Einsatz weniger DEA großer Leistung

Umweltauswirkungen bei verändertem Systemnutzungsgrad

Im Rahmen der Studie aus [1] wird von einem Strommix mit 724 g CO₂-Äquivalenten pro kWh ausgegangen. Bei 100% Wärmenutzung und einem Versorgungskonzept mit reiner Grundlastdeckung an jedem LKP ist theoretisch eine Reduzierung der CO₂-Emissionen um 46% möglich bei ca. 408 g CO₂-

Äquivalenten pro kWh. Wenn nicht die gesamte Abwärme genutzt wird, sondern eine Wärmenutzung von 33% bzw. 50% simuliert wird, ergibt sich für die Grundlastdeckung (Ansatz A) und die Abdeckung der mittleren Tageslast (Ansatz B) die CO₂-Äquivalente nach Abb. 10.

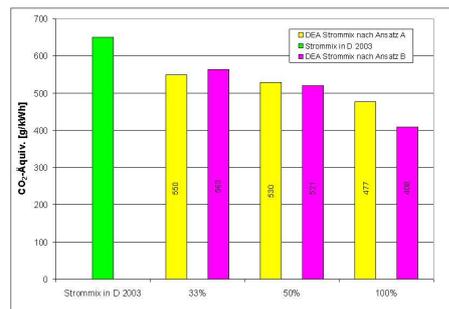


Abb. 10: Umweltauswirkungen bei verändertem Systemnutzungsgrad

Quellen

- [1] I. Mersiowsky et al., *SF₆-GIS-Technologie in der Energieverteilung Mittelspannung-*, Hannover, 2003
- [2] U. Macharey, M. Schwan, A. Schnettler, T. Smolka *Einsatz dezentraler Stromerzeugungstechniken in elektrischen Verteilungsnetzen unter ökologischen Rahmenbedingungen*, Aachen, 2004

Kontakt

Dipl.-Ing. Uwe Macharey
Macharey@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94909

Dipl.-Ing. Thomas Smolka
Smolka@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-90013

Life Cycle Assessment of Distributed Generation in Distribution Systems

A major goal of a sustainable power supply regarding on demand and economical power accessibility the consumption of resources is to reduce the consumption of resources. The structure of future power systems will have to fit to changing conditions if the forecasted increase of Distributed Generation especially from renewable energy sources will come into force. Up to now, it is not known for which load profiles and load densities these systems are efficient and ecologically suitable.

Basic political, social and technical conditions

12,5% of the German power generation in the year 2010 will have to be generated by renewables. In 2020 it will have to be 20%. The Kyoto Protocol claims that the emission of Greenhouse Gases in the EU will have to be reduced in the time span from 2008 to 2012 about 8%. Germany will have to fulfil a reduction of 21%. Moreover, until 2020 approximately 50% of the installed load provided by conventional power plants will have to be substituted for reasons of age and for directives that after 2020 no nuclear power plant will participate in power generation, anymore. Furthermore, overaged equipments have to be replaced. That means that a short time span is given to evaluate new technologies systematically and ecologically based.

Impact of Switchgear Technologies on LCA results in Distribution Networks

The ecological impacts of power distribution with different switchgear technologies is evaluated within the scope of a survey [1] for an urban (10 kV level) and a rural (20 kV level) distribution network using a Life Cycle Assessment (LCA). The surveyed networks

are idealised. However, they are based on real load profiles (Fig. 1).

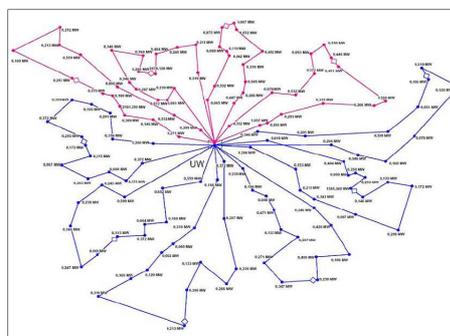


Fig. 1: Urban distribution topology

It is postulated that the urban network solely contains medium voltage cables while the rural network consists of cables as well as of overhead lines. The overview is shown in Fig. 2.

	Urban	Rural
Voltage level	10 kV	20 kV
Supply area	12 km ²	51 km ²
Load density	3,0 MW/km ²	0,5 MW/km ²
Power-losses	1,52 GWh/a	1,12 GWh/a
Grid length	56,2 km	106,8 km

Fig. 2: Network overview

The LCA for both network topologies is executed with two versions. One based on "AIS"-technology (Air insulated switchgears) the other based on "GIS"-technology (SF₆-gas insulated switchgear). The balance concludes the switchgear manufacture, the use

and in case of GIS the SF₆ recycling at the switchgears' decommissioning. Maintenance and disposal at the end of lifetime are disregarded.

The environmental impact categorie GWP₁₀₀ (Global Warming Potential) shows that in the urban network topology appr. 91% (AIS) respectively 92% (GIS) of the whole contributions to the GWP are solely based on power-losses of other Network components, which consist of cable and transformers. The contribution of switchgears to the whole emissions is only 10,4% (AIS) respectively 7,4% (GIS). These emissions come from manufacture and power-losses of switchgears and in case of GIS a contribution of 1,4% based on SF₆-emissions is included (Fig. 3).

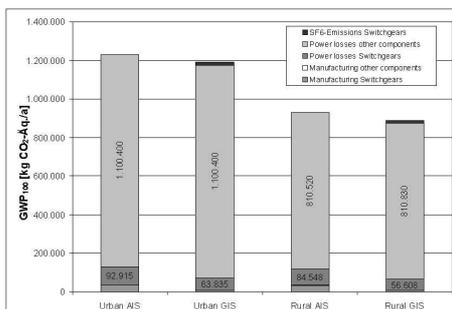


Fig. 3: GWP₁₀₀ Distribution Networks "Urban/Rural"

The version with GIS performs better 3,2% then the version with AIS concerning the global wraming potential. However, it is significant that the main goal should be the minimisation of power-losses.

Minimisation of Power-Losses by Distributed Generation (DG)

Distributed Generation Facilities (DGF) will possibly bring up sustainable effects in DG if they participate

significantly in the minimisation of power-losses [2]. With a section of a metropolitan distribution network simulation has been carried out to figure out which impacts on power-losses DG based on fuel cells, combined heat and power units (CHP) and microturbines theoretically may bring (Fig. 4).

Section of a metropolitan power grid	
Grid lenght	83 km
Supply Voltage	11 kV
Maximum consumer load	7,6 MW

Fig. 4: Network section characteristics

The considered section has 2 HV-Network connections. The allocation of load profiles is approached close to reality (Fig. 5).

Load profile	Network proportion
Industry	50%
Household	31%
Trade/Commerce	17%
Agriculture	2%

Fig. 5: Load Profile apportionment

Within the simulations the specific feed-in power per load node (LN), the feed-in location and the degree of lost heat consumption are varied. The procedure how the DGF are allocated based on the load profile is shown exemplary in Fig. 6 for a profile with the maximum load of 60 kW.

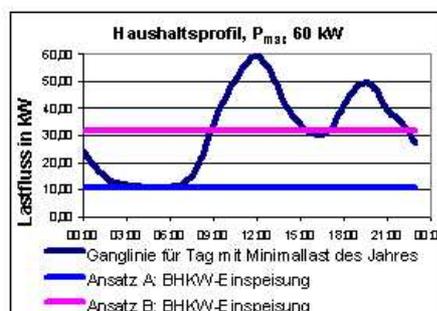


Fig. 6: DG plant size for a household load profile

In doing so, according to approach A the basic load at every LN is covered. Following approach B the daytime medium load is covered. 100% of the lost heat is consumed in both cases. Here, the basic load is 10 kW. The medium daytime load of the household is 33 kW. The allocation for each load in the considered distribution grid is accomplished in an analogue way. The average daily power-losses result from power flow investigations for the whole network section depending on the installed load with DGF (Fig. 7), if a DGF is installed at every LN.

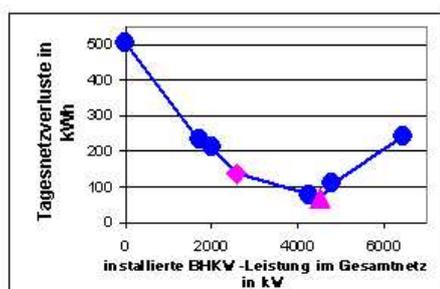


Fig. 7: Daily Power-Losses

The figure reveals the counter-productiveness of installing any amount of power with DGF. If the degree of penetration with DGF is to high, the power flow reversal will lead to a lower reduction of daily power-losses. The results in the graph show a theoretical potential to reduce power-losses significantly emerges. According to approach A with mere basic load covering and DG in every LN at a rate of 100% of lost heat consumption the reduction is 73% added up to 137 kWh. Considering the scenario with approach B a theoretical reduction up to 86% added up to 68 kWh may be possible. However, accomplishing these scenarios, criteria like fuel supply, equipment availability and life cycle etc. are not regarded. Covering the daytime medium load

with DG at the best location for each DGF engine-power class using the whole lost heat, brings out a reduction as following Fig. 8).

Engine-power class of DGF	Number of installed DGF	Power-losses
100 kW	45	51 kWh
250 kW	18	62 kWh
500 kW	9	134 kWh

Fig. 8: Daily power-losses, DGF allocated at the optimal location

The approach closest to reality contains the covering of some daytime medium loads allocating DGF at the best location for each DGF engine-power class. The generation losses are fully used. Even under this condition a theoretical reduction with a load covering of 1 MW with four 250 kW DGF added up to 330 kWh power-losses and a reduction added up to 360 kWh power-losses with two 500 kW DGF is possible (Fig. 9).

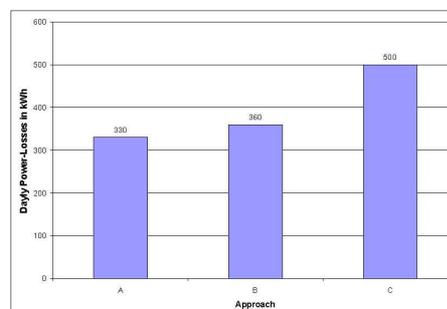


Fig. 9: Daily power-losses, DGF allocated at the best optimal location

Environmental impacts at different degrees of system efficiency

In the survey of [1] a power mix with 724 g CO₂-equivalents per kWh is considered. At a rate of 100% heat consumption and a supply concept based upon mere basic load covering at every LN, a theoretical reduction of the CO₂-

emissions of 46% is possible at approx. 408 g CO₂-equivalents per kWh. In case that not all generation losses can be used, parameter solutions with 33% and 50% heat consumption have been carried out. Fig. 10 shows the CO₂-equivalents per kWh for the basic load covering (approach A) and the daytime medium load covering (approach B).

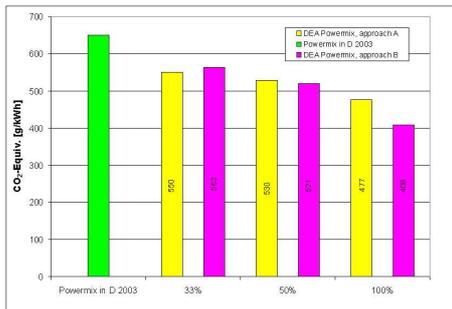


Fig. 10: Environmental impacts at different degrees of system efficiency

References

- [1] I. Mersiowsky et al., *SF₆-GIS-Technologie in der Energieverteilung Mittelspannung*, Hannover, 2003
- [2] U. Macharey, M. Schwan, A. Schnettler, T. Smolka *Einsatz dezentraler Stromerzeugungstechniken in elektrischen Verteilungsnetzen unter ökologischen Rahmenbedingungen*, Aachen, 2004

Contact

Dipl.-Ing. Uwe Macharey
Macharey@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94909

Dipl.-Ing. Thomas Smolka
Smolka@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-90013



Entwicklung eines Simulationstools zur Berechnung der Wirkung von Stromkräften in Mittelspannungsschaltanlagen

Entsprechend der elektromagnetischen Feldtheorie wirken auf die Sammelschienen von Mittelspannungsanlagen im Kurzschlussfall besonders hohe Stromkräfte. Demzufolge können diese starken Stromkräfte zu Schäden an Sammelschienen oder Schaltanlagen führen. Aus diesem Grund soll diese Wirkung bei der Schaltanlagenkonstruktion mitberücksichtigt werden. Auf Grund der komplexen Geometrie und verschiedener Einflussfaktoren sind die vereinfachten Formeln für unendlich lange Leiter nicht genau genug, um die Stromkräfte bzw. Verformungen vorherzusagen. Die Norm erfordert Kurzschlussprüfungen, um die Funktionsfähigkeit der Anlage nach dem Test zu untersuchen. Dazu dürfen sich die Schienen in diesen Tests nicht allzu stark verformen. Da solche Prüfungen kostenaufwendig sind, soll ein zuverlässiges Berechnungstool entwickelt werden, um letztendlich auch die Prüfungskosten zu verringern.

Einleitung

Während des Kurzschlusses lassen sich die Stromverteilung und Stromkraft durch die Anwendung der Maxwell'schen Gleichungen [1] berechnen. Danach wird die Stromkraft als Last in Strukturgleichungen [2] übertragen. Als Resultate ergeben sich die Verformungen von Sammelschienen. Diese zwei physikalischen Effekte werden gekoppelt. Außerdem spielen Einflussfaktoren z.B. Skineneffekt, Nichtlinearität der Materialeigenschaft, usw. eine wichtige Rolle. Deshalb ist das Gleichungssystem nicht-linear und schwer oder unmöglich durch analytische Methoden zu lösen. Diese Probleme können separat mit der Finiten-Elemente-Methode gelöst werden. Durch den Einsatz von Multiphysik-Gleichungslöser können solche interdisziplinären nichtlinearen Probleme gekoppelt behandelt werden.

Magnetfeldsimulation

Zuerst werden die Stromverteilung und die daraus resultierenden Stromkräfte mit einem Magnetfeldsolver unter Berücksichtigung des Skineneffektes berechnet. Aufgrund des Einschaltteffektes (Gleichstromanteil) bei Wechselspannung muss hier eine 3D-Transient-Berechnung durchgeführt werden, um den korrekten Stromkraftverlauf aufzunehmen. Das Modell wird mit Volumen-Elementen vernetzt. Als Randbedingung werden das elektrische Potential und der Strom auf der Querschnittsfläche aufgegeben. Das magnetische Vektorpotential wird so gesetzt, dass der Strom senkrecht zum Querschnitt in die Sammelschiene fließt. Die berechneten Stromkräfte werden dann in das strukturdynamische Modell als Last übertragen.

Modalanalyse

Vor der Strukturdynamiksimulation soll eine Modalanalyse durchgeführt werden. Die Modalanalyse wird durchgeführt, um die Eigenfrequenzen bzw.

Eigenformen der Sammelschiene zu bestimmen. Wenn die Schiene im Einsatz zu nah an ihren Eigenfrequenzen betrieben wird, können sich die Verformungen und damit die Belastungen um ein Vielfaches erhöhen. Die Anregungsfrequenz der Stromkraft beträgt bei 50-Hz-Netzen 100 Hz. Am besten soll die Anregungsfrequenz weit entfernt von den Eigenfrequenzen bleiben, um die vielfache Vergrößerung der Verformung zu vermeiden. Abbildung 1 zeigt das Diagramm der Verschiebungen bei verschiedenen Anregungsfrequenzen für eine Schiene.

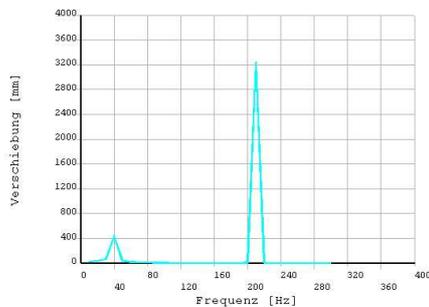


Abb. 1: Diagramm der Verschiebungen

Strukturdynamiksimulation

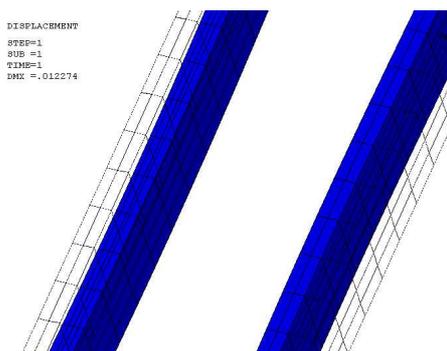


Abb. 2: Verformung der Schienen

Die Stromkraft von der Magnetfeldberechnung wird als Last in das strukturdynamische Modell übertragen. Die Festhaltungen der Sammelschienen werden als Randbedingung gesetzt. Wie bei der Magnetfeldsimu-

lation, wird das Modell mit Volumen-Elementen vermascht. Es wird ebenfalls eine transiente Analyse in dieser Simulation durchgeführt. Als Ergebnisse ergeben sich die Verformungen der Sammelschienen. Abbildung 2 zeigt die Verformung der Schienen bei einem Kurzschlussstrom von 10 kA_{eff} .

Ausblick

Bislang wird das Verhalten der Materialeigenschaften als linear angenommen. Allerdings verhält sich das Material bei manchen Betriebszuständen nichtlinear. Um die Ergebnisse in solchen Betriebszuständen zu erhalten, muss dieses nichtlineare Verhalten der Materialeigenschaft bei der Simulation berücksichtigt und untersucht werden. Als nächstes wird ein Kurzschlussversuch durchgeführt, um die Simulation mit einem Experiment zu vergleichen.

Quellen

- [1] T. Takeuchi, T. Yoshizawa, Y. Kuse, H. Hama, *3-D Nonlinear Transient Electromagnetic Analysis of Short Circuit Electromagnetic Forces in a Three-Phase Enclosure-Type Gas Insulated Bus*, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 36, No. 4, July 2000
- [2] H. Irretier, *Grundlagen der Schwingungstechnik 2*, Vieweg, 1. Auflage 2001

Kontakt

M. Sc. Kittipong Anantavanich
 Anantavanich@ifht.rwth-aachen.de
 ++49/(0)241/80-90015

Development of a simulation tool to calculate the effect of current forces in medium voltage switchgears

According to electromagnetic field theory, especially high current forces affect the bus bars of medium voltage switchgears in case of short-circuit. As a result, these powerful current forces can lead to the damages at bus bars or switchgears. Hence, these effects should be considered during the design process of switchgears. Due to the complex geometry and different influencing factors, the simplified formulas for infinitely long conductors are not accurate enough to predict the current forces and deformations respectively. The norm requires the short-circuit tests to investigate the operability of switchgear after testing. In addition, the bus bars must not critically deform in these tests. Since such tests are expensive, a reliable calculation tool should be developed to finally reduce test costs as well.

Introduction

During short-circuit, the current distribution and current force can be calculated by the application of Maxwell equations [1]. Afterwards, the current force will be transferred as load into structural dynamics equations [2]. Consequently, the deformations of bus bars will be resulted. These two physical effects are coupled. Moreover, the influencing factors such as skin effect, nonlinearity of material property, etc. play an important role. Therefore, the equation system is nonlinear and difficult or impossible to be solved by analytical methods. These problems can be separately solved using the finite element method. By the use of multiphysics equation solver, such interdisciplinary nonlinear problems can be handled iteratively.

Magnetic field simulation

First of all, the current distribution and resulting current forces are calculated by a magnetic field solver taking skin effect into account. Due to switching effect (DC component) of AC voltage, a 3-D transient calculation has to

be carried out to get the correct current force characteristic. The model is meshed with volume elements. The electric potential and the current on the cross section area are given as boundary conditions. The magnetic vector potential is set, that the current flow perpendicular to the cross section into the bus bar. The calculated current forces are then transferred as load into the structural dynamics model.

Modal analysis

Before the structural dynamics simulation is performed, a modal analysis should be done. The modal analysis is carried out to determine eigenfrequencies and eigenforms of bus bar respectively. If bus bar is operated too close to its eigenfrequencies, the deformation and loading can be multiply increased. In 50 Hz grids, the exciting frequency of current force is 100 Hz. The exciting frequency should be far away from the eigenfrequencies to avoid the multiple amplification of deformation. Figure 1 shows the graph of displacements with different exciting frequencies for a bus bar.

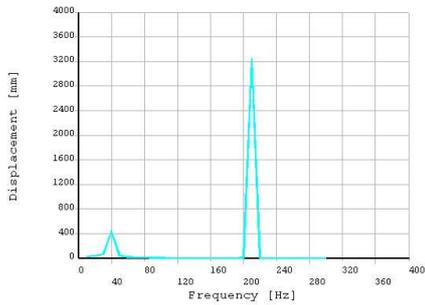


Fig. 1: Displacements with different exciting frequencies

Structural simulation

dynamics

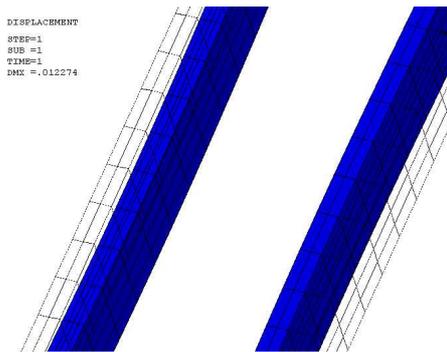


Fig. 2: Deformation of bus bars

The current force from magnetic field calculation is transferred as load into the structural dynamics model. The adherences of bus bars are set as boundary condition. The same as magnetic field simulation, the model is meshed with volume elements. A transient analysis is also performed in this simulation. As a result, it yields the de-

formations of bus bars. Figure 2 shows the deformation of bus bars.

Outlook

Up to now, the behavior of material property is assumed to be linear. However, the material behaves nonlinearly in certain operating states. In order to receive those results, this nonlinear behavior of material property must be considered and investigated in the simulation. At first, a short-circuit test will be done to compare the simulation with an experiment.

References

- [1] T. Takeuchi, T. Yoshizawa, Y. Kuse, H. Hama, *3-D Nonlinear Transient Electromagnetic Analysis of Short Circuit Electromagnetic Forces in a Three-Phase Enclosure-Type Gas Insulated Bus*, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 36, No. 4, July 2000
- [2] H. Irretier, *Grundlagen der Schwingungstechnik 2*, Vieweg, 1. Auflage 2001

Contact

M. Sc. Kittipong Anantavanich
 Anantavanich@ifht.rwth-aachen.de
 ++49/(0)241/80-90015

Ozonerzeugung mit koplanaren Barrierenentladungsanordnungen

Koplanare Entladungsanordnungen bestehen aus einem oder mehreren Elektrodenpaaren, die in einem Dielektrikum sich nahe der Oberfläche befinden. Der Einfluß des Elektrodenabstands und der Dielektrikumsdicke auf die Ozonerzeugung sind untersucht worden. Als Prozessgas kommt trockene Luft und Sauerstoff bei Atmosphärendruck zum Einsatz.

Einleitung

Dielektrische Barrierenentladungen (DBDs) sind Quellen für kalte Plasmen mit hohen Elektronenenergien, die angeregte Teilchen und Radikale bei Atmosphärendruck generieren. Daraus ergibt sich ein großer Bereich von Anwendungen. Die älteste und am besten untersuchte Anwendung ist die Ozonerzeugung.

Die koplanare Barrierenentladungsanordnung (CD) besteht aus Elektrodenpaaren, die im Dielektrikum nahe der Oberfläche liegen (Abb.1). Bei Überschreiten der kritischen Feldstärke im Bereich zwischen den Elektroden auf dem Dielektrikum, treten Entladungskanäle auf der Dielektrikumsoberfläche auf. Auf diesem Wege kann Sauerstoff dissoziiert und Ozon gebildet werden, experimentelle Ergebnisse dazu wurden in [1] veröffentlicht.

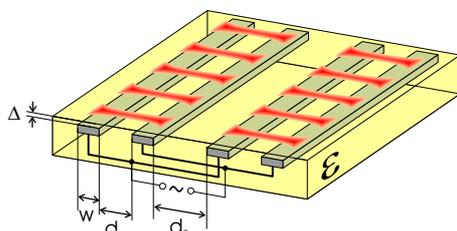


Abb. 1: CD Anordnung

Charakteristische Parameter zur Beschreibung einer CD Anordnung sind die Dicke der dielektrische Schicht über den Elektroden Δ , der Abstand zwischen den Elektroden d_1 , der Abstand benachbarter Elektrodenpaare d_2 und das Material des Dielektriums (ϵ).

Desweiteren haben die Frequenz der angelegten Spannung, sowie das Prozessgas und sein Druck Einfluß auf die Entladung [2].

Versuchsaufbau

Um den Einfluß der charakteristischen Parameter von CD Anordnungen auf die Entladung zu untersuchen, wurden einfache Modellanordnungen entwickelt, die sich durch d_1 und Δ unterscheiden. Die Modellanordnung besteht aus einer Glasplatte mit Nuten. In die Nuten wird Leitsilber als Elektroden gegeben. Die Seite der Glasplatte mit den Nuten ist aus Kühlzwecken und um elektrische Überschläge zu vermeiden in Öl eingebettet.

Der Versuchsaufbau ist in Abb. 2 schematisch dargestellt. Die Spannungsquelle liefert bei einer Frequenz von 1 kHz peak-to-peak Spannungen bis 35 kV.

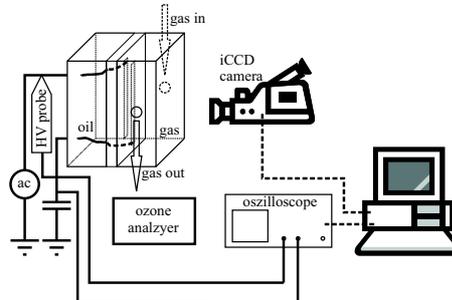


Abb. 2: Versuchsaufbau

Um die Effizienz der Ozonerzeugung beurteilen zu können, muß die in der Entladung umgesetzte Energie bestimmt werden. Da DBDs in der Regel

aus Mikroentladungen von kurzer Dauer (10 bis 100 ns) bestehen, wird hier mit Hilfe eines Koppelkondensators und eines Hochspannungstastkopfes die Spannungs-Ladungscharakteristik aufgezeichnet (Lissajous Figur). Die in der Figur aufgespannte Fläche ist ein Maß für die Entladungsenergie, aus der sich die Leistung unter Berücksichtigung der Frequenz ermitteln läßt.

Ozonerzeugung aus Luft

Zunächst sind für alle Anordnungen die charakterisierenden Spannungs-Leistungs-Diagramme bestimmt worden (Abb. 3). Bei der Anordnung ($\Delta = 300 \mu\text{m}$, $d_1 = 1 \text{ mm}$) treten Entladungen bei einer peak-to-peak Spannung von etwa 15 kV auf. Wird die Spannung erhöht steigt auch die umgesetzte Leistung. Betrachtet man Anordnungen mit dickerem Δ steigt die Einsatzspannung und die umgesetzte Leistung nimmt ab bei derselben Spannung. Ähnliches tritt auf, wenn Anordnungen mit vergrößertem d_1 betrachtet werden.

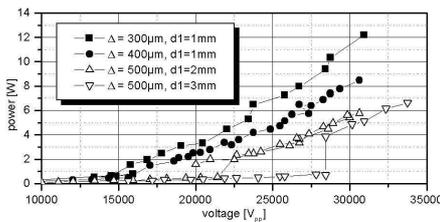


Abb. 3: Spannungs-Leistungscharakteristik

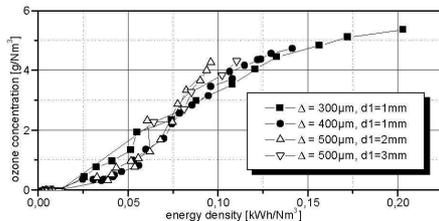


Abb. 4: Kinetische Kurve der Ozonproduktion aus Luft

Obwohl die elektrische Charakteristik der verschiedenen Anordnungen unterschiedlich ist, sind die kinetischen Kur-

ven vergleichbar (Abb. 4). Die Form der Kurve und deren Werte liegt in dem Bereich, der auch schon für die Volumenentladungs- und Oberflächenentladungsanordnung gefunden wurde.

Ozonerzeugung aus Sauerstoff

In Abb. 5 ist die kinetische Kurve der Ozonerzeugung aus Sauerstoff für verschiedene Anordnungen gegeben. Der generelle Verlauf ähnelt dem von Luft, allerdings sind die absoluten Wert um den Faktor vier größer.

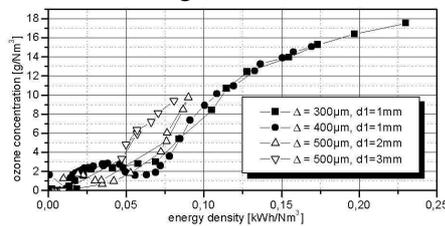


Abb. 5: Kinetische Kurve der Ozonproduktion aus Sauerstoff

Quellen

- [1] Hulka L., Pietsch G. J.: *On the ozone production with coplanar dielectric barrier discharge arrangements*, 9th Int. Symp. on High Pressure Low Temperature Plasma Chemistry, Hakone IX, Padua-Italy, 2004
- [2] Hulka L., Pietsch G. J.: *Investigations on the discharge structure of coplanar dielectric barrier discharges*, Proc. XVth Int. Conf. on Gas Discharges and their Applications, Vol. 1, Toulouse-France, pp. 295-298, 2004

Kontakt

Dipl.-Ing. Lutz Hulka
 hulka@ifht.rwth-aachen.de
 ++49/(0)241/80-94937

Ozone generation with coplanar barrier discharges

The coplanar discharge arrangement consists of one or several pairs of parallel electrodes embedded in a dielectric close to a surface. The influence of the electrode distance and the thickness of the dielectric layer above the electrodes on ozone yield have been investigated. The working gas was dry air and oxygen at atmospheric pressure.

Introduction

The dielectric barrier discharge (DBD) is known as a source of non-equilibrium plasmas with electron energies suitable for the generation of activated particles and radicals at atmospheric pressure. That is why a wide range of applications exists. One of the best-known is ozone production.

The coplanar discharge (CD) arrangement consists of pairs of electrodes embedded in a solid dielectric close to its surface (Fig.1). If the field strength in the region above the location of the electrodes is high enough, discharge channels develop on the dielectric surface, which can be utilised for ozone generation. Some experimental results are presented in [1].

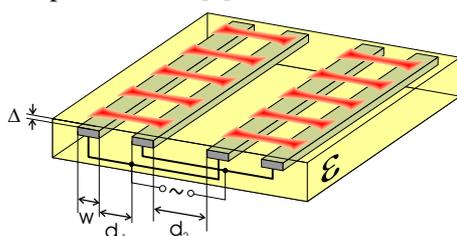


Fig. 1: CD arrangement

In CD arrangements the thickness of the dielectric layer Δ , the distance between the electrodes d_1 , the distance between pairs of parallel electrodes d_2 and the material of the dielectric (ϵ) are characteristic parameters of the device. These determine the properties of the discharge [2] apart from frequency of the applied voltage, the working gas and its pressure.

Experimental set-up

In order to investigate the discharge behaviour in CD arrangements, a simple model device has been developed with the possibility to change electrode distance and the thickness of the dielectric layer above the electrodes. The model device consists of a dielectric plate (float or quartz glass) with milled deep grooves. In these grooves liquid silver is poured and serves as electrodes. One side of the device is connected to an oil-tank to avoid breakdown and for cooling purposes. The other side is exposed to a defined gas flow of 1 NI/min in the discharge region.

A sketch of the experimental set-up is given in Fig. 2. A 1 kHz generator with a peak-to-peak voltage up to 35 kV is used as power supply. In order to determine the efficiency of ozone synthesis, the discharge energy deposited in the gas must be known.

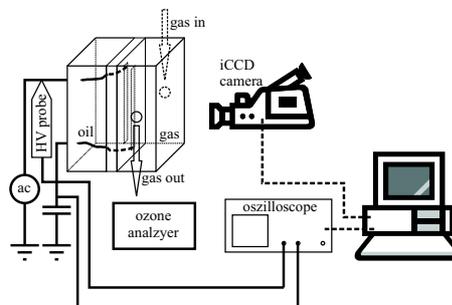


Fig. 2: Experimental set-up

As barrier discharges consist in general of microdischarges of short duration (of about 10 to 100 ns), the energy

release happens during these periods, too short to be measured directly with high accuracy. The most simple way to determine the energy correctly is to measure the charge-voltage behaviour (Lissajous figure method) by means of a high-voltage probe and a coupling capacitor. The area of such a figure is a measure of the discharge energy. Energy and frequency determine the active discharge power.

Ozone production from air

In order to evaluate the ozone yield it is of interest to know the electrical characteristic of each device. In Fig. 3 the power-voltage curves of float glass devices with a single pair of electrodes and dry air as feed gas are shown. At a peak-to-peak voltage of about 15 kV discharge activity appears for the device with $\Delta = 300 \mu\text{m}$ and $d_1 = 1 \text{ mm}$. With rising voltage the power increases. For greater dielectric thickness Δ the ignition voltage rises and the power decreases at a given value of the applied voltage. The same effect appears with rising electrode distance d_1 .

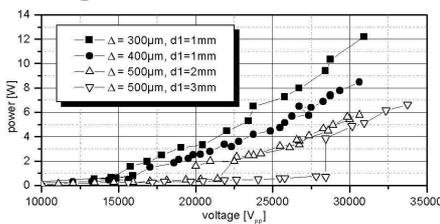


Fig. 3: Power-voltage characteristic

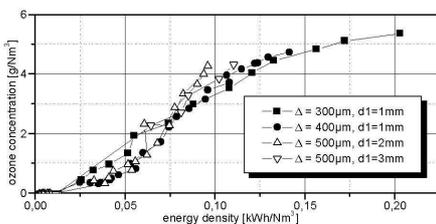


Fig. 4: Kinetic curve of ozone production from air

Although the electrical characteristic of the devices under consideration is different, the kinetic curves of ozone

synthesis are comparable (Fig. 4). The shape is similar to those found for volume discharge and surface discharge arrangements for small energy densities.

Ozone production from oxygen

Kinetic curves of ozone production from oxygen for different devices are given in Fig. 5. The shapes are similar to those measured with air as feed gas for low energy densities, however, the concentration values are about four times higher.

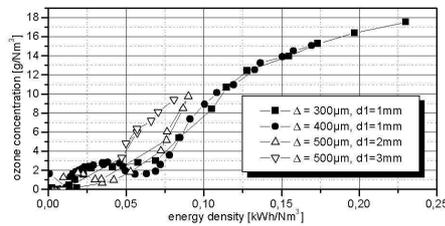


Fig. 5: Kinetic curve of ozone production from oxygen

References

- [1] Hulka L., Pietsch G. J.: *On the ozone production with coplanar dielectric barrier discharge arrangements*, 9th Int. Symp. on High Pressure Low Temperature Plasma Chemistry, Hakone IX, Padua-Italy, 2004
- [2] Hulka L., Pietsch G. J.: *Investigations on the discharge structure of coplanar dielectric barrier discharges*, Proc. XVth Int. Conf. on Gas Discharges and their Applications, Vol. 1, Toulouse-France, pp. 295-298, 2004

Contact

Dipl.-Ing. Lutz Hulka
 hulka@ifht.rwth-aachen.de
 ++49/(0)241/80-94937

Untersuchung von Druckentlastungseinrichtungen in elektrischen Anlagen im Störlichtbogenfall

Störlichtbögen können zu einer Gefährdung von elektrischen Betriebsmitteln, Anlagengebäuden und Bedienungspersonal führen. Störlichtbögen verursachen eine starke Erwärmung der unmittelbaren Lichtbogenumgebung, die eine thermische und mechanische Belastung zur Folge haben. Für einen sicheren Anlagenbetrieb hat die Auslegung von Anlagengebäuden im Hinblick auf Druckentlastungen zu erfolgen. Druckentlastungseinrichtungen (Öffnungen und Kanäle, Störlichtbogenabsorber) führen zu einer deutlichen Reduzierung der Belastung und erlauben damit eine sicherheitstechnische Optimierung.

Störlichtbögen in elektrischen Anlagen

Ursachen für das Entstehen von Störlichtbögen (inneren Fehlern) können u. a. Überspannungen im Netz, Isolationsfehler, Fehlfunktionen von Anlagenkomponenten oder Fehler des Bedienungs- und Wartungspersonals sein. Störlichtbögen können als freibrennende Hochstromlichtbögen, z. B. an Sammelschienensystemen, entstehen oder in abgeschlossenen Teilbereichen von Anlagen auftreten, wie z. B. in Schotträumen eines Schaltfeldes. Die elektrische Leistung, welche im Störlichtbogen umgesetzt wird, beträgt in Energieübertragungs- und -verteilnetzen einige zehn MW. Die während der Fehlerdauer umgesetzte elektrische Energie gibt der Lichtbogen über verschiedene Wechselwirkungsmechanismen an seine Umgebung ab. Direkte Auswirkungen sind das Erwärmen, Aufschmelzen und Verdampfen von Wandmaterialien und Elektroden an Lichtbogenfußpunkten, chemische Reaktionen zwischen verdampftem Material und Umgebungsgas sowie das Aufheizen des Umgebungsgases und die daraus resultierende Druckerhöhung. Zum Schutz von Personen, zur Minimierung von Schä-

den und zur Sicherstellung des Anlagenbetriebs müssen diese Auswirkungen beherrscht werden.

In gekapselten Anlagen und Schaltfeldern werden zur Begrenzung des Überdrucks im Störlichtbogenfall Druckentlastungseinrichtungen installiert. Beim Ansprechen von Druckentlastungsöffnungen entweicht Heißgas aus der Anlage. Um eine Druckerhöhung im Aufstellungsraum der Anlage zu begrenzen, kann der Gasstrom aus dem fehlerbehafteten Betriebsmittel über Druckentlastungskanäle ins Freie geführt werden. Ist eine Entlastung ins Freie nicht möglich, wie z. B. in Schaltanlagen die sich im Kellergeschoss befinden, können so genannte Störlichtbogenabsorber eingesetzt werden. Hierbei handelt es sich um Kühlelemente, die im allgemeinen aus Streckmetallgittern bestehen. Der Gasstrom wird durch eine Anordnung von Kühlgittern geführt. Die Wärmeaufnahme erfolgt über deren Oberfläche. Kühlgitter kommen u. a. auch in Entlastungskanälen zum Einsatz.

Untersuchung von Störlichtbogenabsorbern

Die Energieaufnahme durch Lichtbogenabsorber soll mit einem Computa-

tional Fluid Dynamics (CFD) Druckberechnungsverfahren durch das Implementieren von geeigneten Energiesenken nachgebildet werden. Das verwendete CFD-Verfahren erlaubt eine zeit- und orts aufgelöste Bestimmung des Druckes unter Berücksichtigung aller relevanten physikalischen Phänomene, wie Druckwellenausbreitung, Turbulenz, temperatur- und druckabhängige Gaseigenschaften. Die besondere Leistungsfähigkeit der Software besteht in den programmierbaren Schnittstellen, mit denen eigene Fortran-Routinen hinzugefügt werden können. Dadurch ist es möglich z. B. genauere Gaseigenschaften zu berücksichtigen, spezielle Randbedingungen oder Modelle einzuführen und damit das Programm an das Problem anzupassen. Hiermit ist die Simulation einer orts aufgelösten Energieabfuhr möglich, welche Rückschlüsse auf die Wirksamkeit von Lichtbogenabsorbern zulässt.

Durch Vergleich mit experimentellen Werten sind Vorgaben für die Energiesenken im Programm möglich. Für Kurzschlussversuche wird ein Reihenschwingkreis mit einer Kondensatorbatterie eingesetzt. Die Lichtbogenbrennzeit kann durch Variation der Induktivität zwischen 20 und 100 ms liegen. Die Versuche werden in einem Vierflansch von 70,9 l Volumen, in dem sich die Elektroden befinden, und angeschlossenem Rohr (151 l) durchgeführt (Abb. 1).

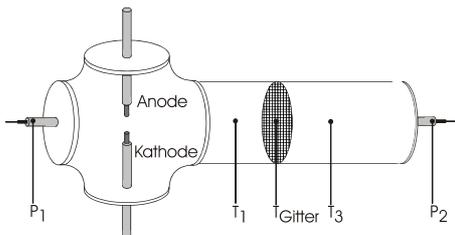


Abb. 1: Prüfgefäß

Die Lichtbogenabsorber sind in dem Rohr positioniert. Gemessen werden Lichtbogenstrom, Brennspannung, Überdruck im Prüfgefäß, Gas- und Kühlgittertemperatur (Abb. 2).

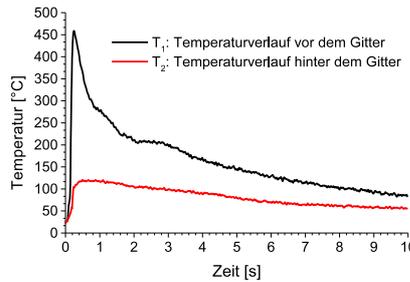


Abb. 2: Temperaturverlauf des Gases vor und hinter dem Kühlgitter

Aus den Messdaten lassen sich die elektrisch eingespeiste Leistung und die umgesetzte Energie berechnen. Über die Beziehung

$$\Delta W_{Gitter} = m_{Gitter} \cdot c_{Gitter} \cdot \Delta T_{Gitter}$$

wird die vom Kühlgitter aufgenommene Energie bestimmt. Die Wirksamkeit kann dann über

$$\eta = \frac{k_p \cdot \Delta W}{\Delta W_{Gitter}}$$

angegeben werden, wobei k_p der Anteil an der elektrisch eingespeisten Energie ΔW ist, der zur Aufheizung des Isoliergases führt. Ziel der Untersuchungen ist die Quantifizierung der Wirksamkeit von Störlichtbogenabsorbern.

Kontakt

Dipl.-Ing. Michael Schmale
Schmale@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94958

Investigations on Pressure Relief Equipment of Electrical Installations in the Case of Fault Arcs

Fault arcs may endanger electrical equipment, substation buildings and operational staff. Fault arcs generate an extreme heating of their direct surroundings, which leads to thermal and mechanical stress. For safe substation operation the building has to be dimensioned with regard to pressure release. Pressure relief equipment (like flaps, ducts and fault arc absorbers) lead to a considerable reduction of stress and permit hereby a safety-engineering optimization.

Fault Arcs in Electrical Installations

Fault or internal arcs may follow from overvoltage, insulation failure, malfunction of installation components or human errors of operating- and maintenance personal. Fault arcs can appear as free burning high current arcs for example at busbars or in enclosed compartments of switching boards. The electric power dissipated by fault arcs in energy transmission systems and distribution networks is in the order of some ten MW. During fault arc duration the electric energy of the arc is dissipated to the arc's surroundings by several interaction mechanisms. Direct effects are the heating, melting and vaporising of wall materials and electrodes at the fault arc root points, chemical reactions between vaporised material and the surroundings as well as insulation gas heating and hence a resulting pressure rise. For protection of people, minimisation of damage and securing energy supply these effects have to be controlled.

In enclosed installations and switching boards pressure release devices are installed to limit overpressure due to the fault arcs. By activation of the pressure relief openings hot gas flows out of the installation. To limit the pressure rise

in the installation building, the gas flow from the faulty installation can be directed to the environment through pressure release ducts. If the release to the environment is not possible, like in such cases where the installations are in the cellar, fault arc absorbers can be used. These are cooling components, which in general consist of expanded metal grids. The hot gas current is directed through an arrangement of cooling grids. The heat absorption takes place on their surface. Among other things cooling grids are used in pressure release channels too.

Investigations of Fault Arc Absorbers

The energy absorption of fault arc absorbers will be simulated with a Computational Fluid Dynamics (CFD) pressure calculation method by implementation of a suited energy depression. The used CFD-method permits a time- and space resolved determination of the pressure taking into account all relevant physical phenomena like pressure waves, turbulence, temperature and pressure dependent gas properties and so on. Special feature of the software are programmable interfaces, which permit to introduce own Fortran-Routines. Thereby it is possible, to

consider e. g. more exact gas properties, special boundary conditions and to introduce models and thus customise the software to the problem. Doing this a simulation of the spatial resolved energy transfer is possible, which allows an evaluation of the efficiency of fault arc absorbers.

Values for the consideration of energy sinks in the program can be found by comparison with experimental results. For short circuit experiments a series resonant circuit with a capacitor bank is used. The arc duration can be varied between 20 and 100 ms by a variable inductance. The experiments are performed in a test vessel of 70.9 ℓ volume with the electrodes and an attached duct (151 ℓ) with fault arc absorber (Fig. 1).

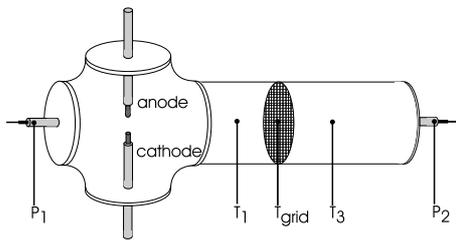


Fig. 1: Test Vessel

Arc current, burning voltage, overpressure in the test vessel, temperature of the gas and of the cooling grid are measured (Fig. 2).

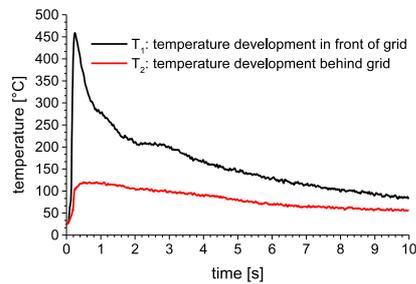


Fig. 2: Temperature development before and behind the cooling grid

The electric power and energy are calculated from the measurement values. With the equation

$$\Delta W_{grid} = m_{grid} \cdot c_{grid} \cdot \Delta T_{grid}$$

the absorbed energy by the cooling grid can be determined. The efficiency of the absorber follows from

$$\eta = \frac{k_p \cdot \Delta W}{\Delta W_{grid}}$$

with k_p the fraction of electric energy, which causes heating of the insulating gas. The aim of the investigations is to quantify the efficiency of fault arc absorbers.

Contact

Dipl.-Ing. Michael Schmale
Schmale@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94958

Basisuntersuchungen zum Abschaltvermögen von Generatorleistungsschaltern

Eine erfolgreiche Stromunterbrechung in Gasschaltern ist vom Beblasungsdruck, dem Löschgaszustand, den Strömungsbedingungen und dem umgebenden Netzwerk abhängig. Daher ist das Verständnis der physikalischen Prozesse rund um den Stromnulldurchgang eine Grundvoraussetzung für zukünftige Optimierungen. Experimentelle Untersuchungen zum thermischen Abschaltvermögen von SF₆ Generatorleistungsschaltern in einem synthetischen Prüfkreis wurden mit gezielten Parametervariationen von Druck und Netzwerkimpedanz durchgeführt. In diesem Bericht werden die thermischen Abschaltgrenzen und die Bogenwiderstandsmessungen dieser systematischen Parametervariation vorgestellt.

Einleitung

Generatorleistungsschalter werden zum Schutz von Primärkomponenten in Kraftwerksnähe eingesetzt und müssen dabei Kurzschlussströme von bis zu 200 kA_{rms} unterbrechen. In SF₆ Generatorleistungsschaltern wird mit unterschiedlichen Prinzipien [1] eine kühlende Gasströmung erzeugt, um die Lichtbogenlöschung und die Wiederherstellung der dielektrischen Festigkeit rund um Stromnull zu gewährleisten. Das Verständnis der physikalischen Prozesse um Stromnull ist eine Grundvoraussetzung zur Verbesserung dieser Schalter. Hierzu wurden in einem synthetischen Prüfkreis Basisuntersuchungen mit systematischen Parametervariationen zum Abschaltvermögen von SF₆ Generatorleistungsschaltern durchgeführt.

Experimenteller Aufbau

Diese Untersuchung wird in einem synthetischen Prüfkreis nach Weil-Dobke im ABB Forschungszentrum in Baden (CH) durchgeführt. Um die physikalischen Prozesse rund um Stromnull durch Messungen zu quantifizieren, wird ein Nachstrommesssystem eingesetzt. Da die Strömungssituation im Hinblick auf das Abschalt-

vermögen einen entscheidenden Einfluss hat, wurden die Experimente in einem zu Messzwecken modifizierten ABB Serienschalter durchgeführt. Detailliertere Beschreibungen der Prüf- und Messeinrichtungen sind in vorhergehenden Berichten beschrieben [2].

Ergebnisse

In diesem Bericht wird ein Teil der systematischen Parameterstudie vorgestellt, bei der die Lichtbogenwiderstände und das thermische Abschaltvermögen für unterschiedliche Beblasungsdrücke und Netzwerkimpedanzen untersucht werden. Die gemessenen Stromsteilheiten für Versager und Unterbrecher wurden in Abhängigkeit von Beblasungsdruck und der Netzwerkimpedanz aufgenommen.

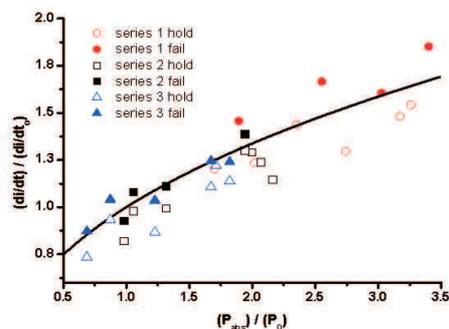


Abb. 1: Abschaltgrenze bezogen auf Druck in CZ

Es ergibt sich ein Skalierungsgesetz (vgl. schwarze Kurve in Abb. 1) für die maximal abschaltbare Stromsteilheit in der Form

$$\frac{di}{dt_{max}} = \frac{di}{dt_0} \cdot \left[\frac{P_{abs}}{P_0} \right]^{0,42} \cdot \left[\frac{450\Omega}{Z} \right]^\alpha \cdot f(t_d, C_p)$$

mit t_d als Zeitverzug der TRV, C_p als Parallelkapazität und α als gasabhängigem Exponenten. Der Exponent für die Druckabhängigkeit wurde zu 0,42 bestimmt. Der Einfluss der Netzwerkimpedanz lässt sich bezogen auf die Impedanz von 450 Ω durch einen gasabhängigen Exponenten α beschreiben. Weiterhin wurde im Rahmen dieser Untersuchung die Entwicklung des Bogenwiderstandes rund um den Stromnulldurchgang betrachtet. In den Experimenten wurde ein linearer Zusammenhang zwischen dem Lichtbogenwiderstand in Stromnull und 200 ns vorher ermittelt [2].

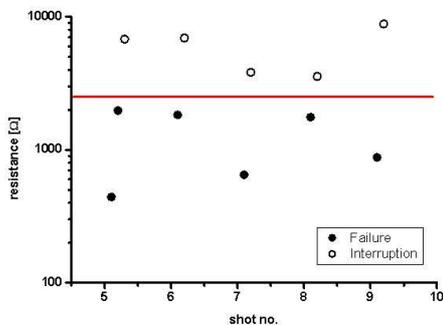


Abb. 2: Widerstand 200 ns vor CZ bezogen auf R_{CZ}

Der Literatur [3] ist zu entnehmen, dass bereits durch die Bestimmung des Widerstands 200 ns vor Stromnull eine Information über das Versagen oder Halten eines Schalters gewonnen werden kann. Hierdurch ist eine Voraussage des thermischen Abschaltvermögens bereits 200 ns vor Stromnull möglich. In diesem Fall konnte eine Grenz-

linie (vgl. Abb. 2) zwischen Versagern und Haltern bestimmt werden.

Zusammenfassung

Durch die gezielte Variation von Netzwerkimpedanz und Beblasungsdruck konnte anhand der gemessenen Abschaltgrenzen ein Skalierungsgesetz bestimmt werden. Durch die Messung des Bogenwiderstands war es möglich, das Abschaltvermögen 200 ns vor Stromnull vorauszusagen. Dies ist der erste Teil einer intensiven Studie der Einflussparameter auf das thermische Abschaltvermögen von SF₆ Generatorleistungsschaltern. Weitere Untersuchungen des Abschaltvermögens und des Bogenwiderstandes im Bezug auf den Löschgaszustand sind geplant.

Quellen

- [1] A. Steffens et al., *Physical aspects of a selfblast generator circuit breaker for currents up to 200 kA*, Proc. GD, 2004
- [2] A. Steffens et al., *Basic investigation on resistance at current zero of SF₆ selfblast circuit breakers*, Proc. GD, 2004
- [3] H. Knobloch, U. Habedank, *Arc resistance at current zero: A tool to describe the breaking capacity of SF₆ circuit breakers at short line fault*, Proc. ISH, 1999

Kontakt

Dipl.-Ing. Alexander Steffens
 alexander.steffens@ch.abb.com
 ++41 (0) 58 / 58 - 6 83 12

Basic investigations on generator circuit breakers interruption capability

A successful interruption in a gas circuit breaker depends on the blow gas pressure, the quenching gas composition, the blow gas flow, and the surrounding network. Therefore, the understanding of the physical processes around current zero is the basic requirement for optimisations. Experimental investigations on the thermal interruption capability of SF₆ generator circuit breakers in a synthetic test circuit are made with systematically varied gas pressure and circuit impedance. This report presents the results of thermal interruption limits and arc resistance measurements around current zero of this systematic variation.

Introduction

Generator circuit breakers are used to protect primary components near power stations and have to interrupt currents up to 200 kA_{rms}. SF₆ generator circuit breakers produce by different principles [1] the needed cooling flow to extinguish of the arc and re-establish the dielectric strength around current zero. The understanding of these processes is the basic requirement for optimisation of such breakers. Therefore basic investigations on the interruption capability of SF₆ generator circuit breakers in a synthetic test circuit are done with a systematic parameter variation.

Experimental Setup

This investigation is carried out using a Weil-Dobke synthetic test setup at the research centre of ABB Switzerland AG in Baden (CH). To examine the physical processes around current zero by measurements a post arc current monitoring system is used. Since the flow conditions are crucial with the view of the interruption capability, the experiments are done with a serial ABB breaker HGI3 modified for the measurements. Further details of the test- and measurement setup are described in previous reports [2].

Results

This investigation shows the part of the systematic parameter study, where the arc resistance and the interruption limit were determined for different blow gas pressures and network impedances.

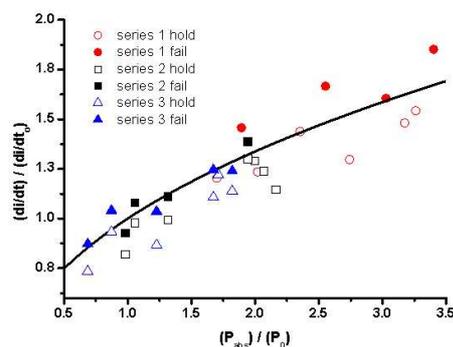


Fig. 1: Interruption limit related to pressure at CZ

The measured $\frac{di}{dt}$ during interruption or failure (see fig. 1 - black curve) of the test object is a function of the applied pressure at CZ and the network impedance and reads as

$$\frac{di}{dt_{max}} = \frac{di}{dt_0} \cdot \left[\frac{P_{abs}}{P_0} \right]^{0,42} \cdot \left[\frac{450\Omega}{Z} \right]^\alpha \cdot f(t_d, C_P)$$

with t_d -time delay of TRV, C_p -parallel capacitance and α -gas dependent coefficient. The coefficient for the pressure dependency was determined to 0.42. The influence of the network impedance related to the impedance

of 450Ω is described by a gas dependent exponent α . Measured as well within this investigation is the development of the arc resistance around current zero. In these experimental investigations, has been found a linear relation between the arc resistance at CZ and 200 ns before [2]. It was reported earlier that the measured arc resistance 200 ns before current zero already gives the information about interruption or failure of the breaker [3].

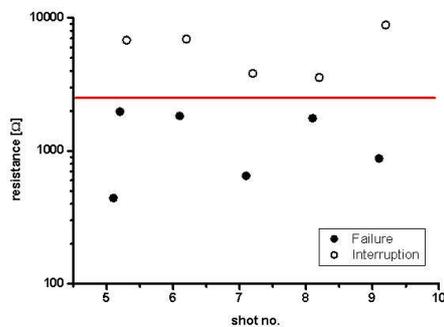


Fig. 2: Resistance 200 ns before CZ related to R_{CZ}

This means, a prediction of the thermal interruption behaviour of the breaker is possible at 200 ns before CZ. A borderline (see fig. 2) between interruption and failure was found.

Conclusion and Outlook

With variation of the surrounding network impedance and the blow gas pressure the dependencies on the interruption performance were determined and a scaling law for the interruption limit was extracted from the measurements. By arc resistance measurements a pre-

dition of interruption 200 ns before CZ is possible. This first approach is the beginning of an intensive study on different parameters influencing the switching performance of SF_6 generator circuit breakers. Further investigations of the interruption capability and the arc resistance will take place to determine the influence of various blow gas conditions. This ongoing basic investigation supports the better understanding of the physical processes around current zero.

References

- [1] A. Steffens et al., *Physical aspects of a selfblast generator circuit breaker for currents up to 200 kA*, Proc. Gas Discharge, 2004
- [2] A. Steffens et al., *Basic investigation on resistance at current zero of SF_6 selfblast circuit breakers*, Proc. Gas Discharge, 2004
- [3] H. Knobloch, U. Habedank, *Arc resistance at current zero: A tool to describe the breaking capacity of SF_6 circuit breakers at short line fault*, Proc. ISH, 1999

Contact

Dipl.-Ing. Alexander Steffens
alexander.steffens@ch.abb.com
++41 (0) 58 / 58 - 6 83 12

Asset-Management in Verteilnetzen auf der Basis neuer Kenntnisse über Komponentenzuverlässigkeit und Kosten im Schadenfall

Im aktuellen Marktumfeld der elektrischen Energieversorgung haben sich Asset-Management-Verfahren zu einem zentralen Bestandteil von Netzbetrieb und Netzplanung entwickelt. Die Verfahren benötigen jedoch Aussagen über die Zuverlässigkeit der im Netz installierten Komponenten in Abhängigkeit relevanter Parameter sowie über die im Schadenfall entstehenden Kosten. In einer speziellen Schadenstatistik werden daher Angaben zu historischen Schadenereignissen erfasst. Die systematische Auswertung erlaubt dann eine genauere Modellierung der Komponentenzuverlässigkeit und der durch Komponentenschäden verursachten Kosten.

Einleitung

Vor dem Hintergrund der Liberalisierung der Energiemärkte haben Verfahren zum Asset-Management einen festen Platz in den Bereichen Betrieb und Planung elektrischer Energieversorgungsnetze eingenommen. Der zunehmende Kostendruck zwingt die Unternehmen zum immer effizienteren Einsatz der zur Verfügung stehenden Mittel bei gleichzeitiger Erhaltung der hohen Versorgungsqualität. In diesem Spannungsfeld helfen Asset-Management-Verfahren planerische und unternehmerische Entscheidungen auf eine sichere Grundlage zu stellen [1].

Asset-Management in Verteilungsnetzen

Das Asset-Management in Verteilungsnetzen, deren Wert in Deutschland auf ca. 20 Mrd. EUR geschätzt wird, muss einige besondere Aspekte beachten. Die Zahl der installierten Betriebsmittel ist in den Verteilungsnetzen deutlich höher als in den Transportnetzen.

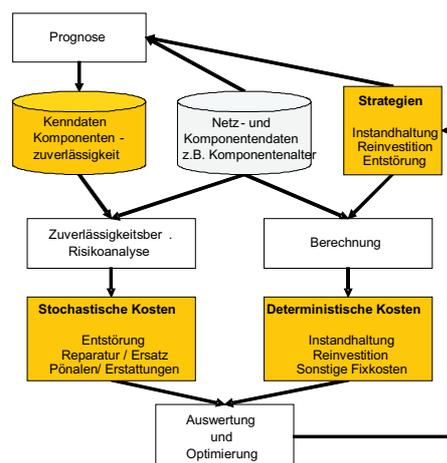


Abb. 1: Schematischer Ablauf des Asset-Managements in Verteilungsnetzen [1]

Asset-Management-Verfahren müssen daher auf statistischer Basis arbeiten, wobei die Betriebsmittel unterschiedlichen Typklassen zugeordnet werden. Des Weiteren wird sich das durchschnittliche Anlagenalter aufgrund der begrenzten Mittel für Reinvestitionen erhöhen, wobei für viele dieser zunehmend alten Betriebsmittel keine ausreichenden Betriebserfahrungen vorliegen. Verteilungsnetze haben zudem maßgeblichen Einfluss auf die Versor-

gungsqualität und die Kosten der Energieversorgung.

Das Ziel des Asset-Managements ist die Minimierung der Gesamtkosten des Netzbetriebs unter Gewährleistung einer angemessenen Versorgungszuverlässigkeit. Von elementarer Bedeutung ist dabei die Optimierung der Strategien für Instandhaltung, Reinvestition und Entstörung. Die Basis des Asset-Managements bilden die Netz- und Komponentendaten, insbesondere die Mengengerüste und Altersstrukturen. Der schematische Ablauf eines solchen Asset-Managements ist in Bild 1 dargestellt [1].

Komponentenzuverlässigkeit und Kosten im Schadenfall

Ein wesentlicher, jedoch ungelöster Aspekt ist die Prognose der Zuverlässigkeit der Komponenten in Abhängigkeit von deren Betriebsalter und Instandhaltungshistorie. Des Weiteren sind fundierte Angaben über die durch Komponentenschäden verursachten Kosten und deren statistische Streuung zur Abschätzung der stochastischen Kosten erforderlich.

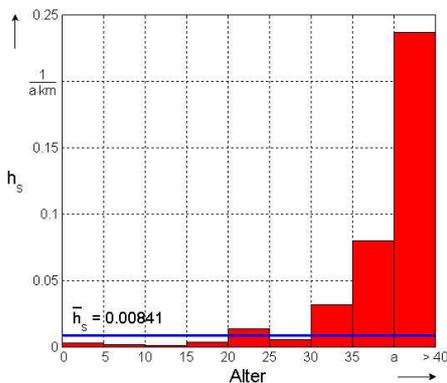


Abb. 2: Altersabhängige Schadenrate und Mittelwert - Freileitung / Holzmaсте (58 Ereignisse)

Der beschriebene Kenntnismangel hat dazu geführt, historische Schadenergebnisse in einer speziellen Schadenstatistik zu erfassen und systematisch auszuwerten. Bild 2 und Bild 3 zeigen beispielhaft erste qualitative Zwischenergebnisse, deren Zahlenwerte jedoch nicht belastbar sind, da die Dateneingabe noch nicht abgeschlossen ist. Mit Hilfe der neuen Informationen wird es somit zukünftig möglich sein, das Asset-Management in Verteilungsnetzen zu präzisieren und effizienter einzusetzen.

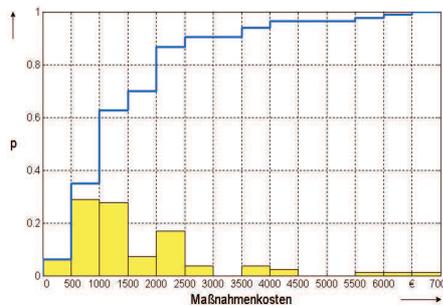


Abb. 3: Maßnahmenkosten, relative Häufigkeit und relative Summenhäufigkeit - Ortsnetztransformatoren (83 Ereignisse)

Quellen

[1] M. Schwan, K.-H. Weck, A. Schnettler, A. Schneider, W.H. Wellßow, M. Kaiser, *Asset-Management von Verteilungsnetzen unter Anwendung eines Kostenrisiko-Managements*, ETG-Fachbericht 94 Energietechnik für die Zukunft (2003), S. 75-83

Kontakt

Dipl.-Ing. Uwe Zickler
uwe.zickler@fgh-ma.de
++49 (0) 621 / 8047 - 140

Asset Management in Distribution Systems Considering New Knowledge on Component Reliability and Costs in Case of Damage

In the current power system business environment asset management processes have developed to a central component of network operation and planning. However, the procedures need statements about the reliability of the installed components depending on relevant parameters as well as about the costs arising in case of damage. Therefore, data of historical damage events are collected in a special damage statistic. Subsequently, using a systematic evaluation a more exact modelling of the component reliability and an estimation of the costs caused by component damages will be possible.

Introduction

Against the present background of the liberalisation of the energy markets asset management procedures took a firm place within the operation and planning of electrical power systems. The increasing cost pressure forces the utilities to a more and more efficient use of equipment with a simultaneous preservation of the high quality of supply. In this area of conflict asset management procedures help to set planning and corporate decisions to a safe basis [1].

Asset Management in Distribution Networks

The asset management in distribution networks has to consider some special aspects. The number of installed units is clearly higher in distribution systems than in transmission systems. Therefore asset management procedures have to work on statistical basis, where the devices are allocated to different type classes. Furthermore the average plant age will increase due to the limited means for reinvestments, whereas sufficient operational experi-

ences for many of these increasingly old installation units are not present. In addition distribution networks have a significant influence on the quality and the costs of the power supply.

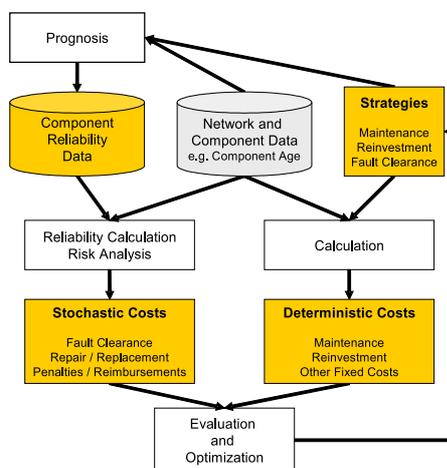


Fig. 1: Schematic sequence of asset management in distribution networks [1]

The aim of the asset management is the minimization of the total costs of the network operation while recurring an appropriate reliability of supply. Thereby the optimization of the strategies for maintenance, reinvestment and fault clearance is of elementary importance. The network and component

data, in particular the quantity structure and the age structure, form the basis of the asset management. The schematic sequence of such an asset management is represented in fig. 1 [1].

Component Reliability and Costs in Case of Damage

A substantial but unresolved aspect is the prognosis of the reliability of the components as a function of their operating age and their maintenance history. Furthermore well-founded data concerning the costs caused by component damages and their statistical dispersion are necessary to estimate the stochastic costs.

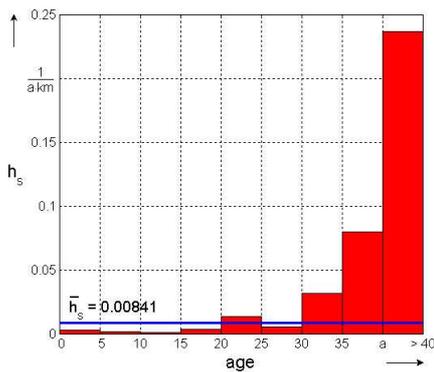


Fig. 2: Age related damage rate and mean value - overhead line / wood poles (58 events)

The described lack of knowledge shall be repaired by the collection and evaluation of historical damage events in a special damage statistic. Figure 2 and figure 3 show exemplarily first qualitative intermediate results, though whose numerical values are not sound, since

the data input is not finished yet. Thus the new gained information will enable the specification and the more efficient use of asset management procedures in distribution systems in the future.

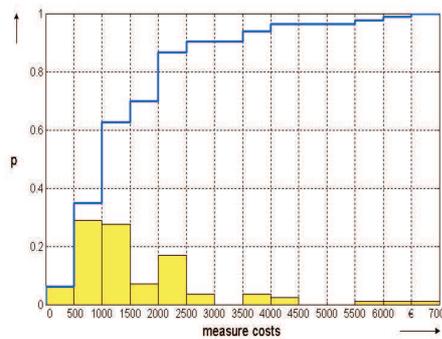


Fig. 3: Measure costs, relative frequency and relative cumulative frequency - distribution transformer (83 events)

References

- [1] M. Schwan, K.-H. Weck, A. Schnettler, A. Schneider, W.H. Wellbow, M. Kaiser, *Asset-Management von Verteilungsnetzen unter Anwendung eines Kostenrisiko-Managements*, ETG-Fachbericht 94 *Energietechnik für die Zukunft* (2003), S. 75-83

Contact

Dipl.-Ing. Uwe Zickler
 uwe.zickler@fgh-ma.de
 ++49 (0) 621 / 8047 - 140

Diplom-, Master- und Studienarbeiten

Diplomarbeiten

Agwuegbo, Obi

Untersuchung der Teilentladungsentwicklung von verschiedenen syntaktischen Schäumen

Syntaktischer Schaum ist ein Werkstoff, der sich in vielen Bereichen wie zum Beispiel der Automobilindustrie und dem Leichtbau bereits durchgesetzt hat. In der Hochspannungstechnik ist die Nutzung dieses Materials als elektrischer Isolierstoff bislang nur auf wenige Ausnahmen begrenzt. Die Arbeit umfasst eine Literaturrecherche über die unterschiedlichen Arten und Anwendungen von syntaktischem Schaum, die Optimierung des Herstellungsprozesses für Nadel-Platte Prüflinge aus diesem Material und erste Messungen der Teilentladungsentwicklung dieser Proben mit Wechselspannung. Es wird insbesondere untersucht, ob durch Teilentladungen verursachte Schädigungen in syntaktischem Schaum mit Hilfe von lichtmikroskopischen Aufnahmen und REM-Schnittbildern detektierbar sind und ob diese Bilder Hinweise über die Entstehung mikroskopischer Schäumen durch elektrische Überbelastung geben können.

Kahlen, Jan Christoph

Vergleichende Untersuchungen zur Hochfrequenz-Konditionierung von industriellen Vakuumschaltkammern mit Modellschaltern in einem Hochvakuumpumpstand

Die dielektrische Festigkeit von Va-

kuumschaltkontakten wird wesentlich durch deren Oberflächenbeschaffenheit beeinflusst. Die erforderliche Spannungsfestigkeit kann erst durch eine Konditionierung der Kontakte erreicht werden. Für optische Untersuchungen des Konditionierungslichtbogens bei einer Hochfrequenzkonditionierung wird ein Hochvakuumpumpstand aufgebaut. Die Konditionierung erfolgt an einem Modellschalter und wird mit der Konditionierung von industriellen Vakuumschaltkammern verglichen.

Knuth, Oliver

Zum Einfluss verschiedener Betriebsparameter auf die Ozonerzeugung mit koplanaren Barrierenentladungsanordnungen

Die Ozonerzeugung stellt die mit Abstand billigste und am besten untersuchte Anwendung der dielektrischen Barrierenentladung dar. In dieser Arbeit wird mit der koplanaren Anordnung Ozonerzeugung um den Einfluss unterschiedlicher Parameter zu untersuchen. Aus diesem Grund wurden Anordnungen unterschiedlicher Geometrien (Elektrodenabstand, Dielektrikumdicke) mit Spannung verschiedener Frequenzen (50 Hz bis 10 kHz) bei Sauerstoff bzw. synthetischer Luft als Prozessgas in Hinblick auf die Ozonerzeugung untersucht.

Linne, Eva Marie:

Entwicklung und Bewertung von zukünftigen dezentralen Energieversorgungsszenarien

Die Arbeit beschäftigt sich mit Szenarien zur dezentralen Energieversorgung durch den Einsatz von dezentralen Energiewandlungseinheiten. Für ein exemplarisches Verteilungsnetz in Deutschland werden Simulationen zur Minimierung des Lastflusses durchgeführt und ganzheitlich bewertet. Auch eine mögliche Kopplung der Energiewandlungstechnologien mit Speichertechnologien in dezentralen Energieversorgungsnetzen wird untersucht. Ziel der Arbeit ist die Bestimmung eines Szenarios mit minimalen Stromwärmeverlusten unter ausschließlichem Einsatz dezentral und mit konstanter Leistung einspeisender Erzeugungseinheiten.

Djavidi, Kurosch

Experimentelle Untersuchung eines SF₆-Selbstblas-Schalter Modells

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Ausschaltleistung des am Institut verwendeten Schalter-Modells untersucht. Versuchsparameter waren dabei der Düsendurchmesser und das Volumen der Blaskammer im Schalter-Modell. Die gewonnenen Daten liefern ein genaues Bild davon, welche Stromsteilheiten bzw. Spannungssteilheiten das Schalter-Modell bei vorgegebenen Belastungsstrom sicher ausschalten kann.

Heymann, Jarek:

Ökobilanzuntersuchung der Stromerzeugung und Netzeinspeisung eines offshore Windparks

Im Rahmen der Arbeit werden die Umweltauswirkungen der Stromerzeugung und der Netzeinspeisung eines offshore Windparks in das Übertragungsnetz mit Hilfe einer Ökobilanz untersucht. Dazu wurden Lastflussuntersuchungen an einem Modell eines offshore Windparks durchgeführt, sowie ein Ökobilanzmodell zur Stromerzeugung erstellt. Anhand ausgewählter Parameterstudien wurde der Beitrag der einzelnen WEA-Bestandteile zum Treibhauspotenzial ermittelt sowie der Einfluss einer veränderten Distanz zur Küste auf die Parkbestandteile erfolgreich simuliert und ausgewertet.

Lehrich Kastner, Jörg

Untersuchung des Druckaufbaus in SF₆ Leistungsschaltern nach mehreren Kurzschlussabschaltungen

Zur Simulation der Hochstromphase von SF₆-Leistungsschaltern wurde mit Hilfe der Software CFX5 ein Tool zur Berechnung von abbrandbestimmten Lichtbögen entwickelt. Im Rahmen der Diplomarbeit wurde dieses Simulationstool zur Simulation des Druckaufbaus in einem Modellschalter erweitert und mit den experimentellen Daten verglichen.

Masterarbeiten

Machkine, Andrei:

Untersuchung verschiedener Materialien mit Schaumstruktur in Bezug auf deren elektrischen Eigenschaften

Materialien mit Schaumstruktur zeichnen sich durch eine geringe spezifische Dichte bei meist hinreichender mechanischer Festigkeit aus. Das macht diese Werkstoffgruppe auch für verschiedene Anwendungen in der elektrischen Energietechnik interessant. Die Grundvoraussetzung dafür ist jedoch, dass diese Materialien ausreichend gute elektrische Eigenschaften besitzen. Da diese bei den meisten Schäumen bislang noch nicht ermittelt worden sind, werden sie im Rahmen dieser Arbeit für unterschiedliche Schaumtypen experimentell bestimmt und miteinander verglichen. Abschließend erfolgt eine Auswertung der Ergebnisse im Hinblick auf einen möglichen Einsatz von Schäumen in der Hochspannungstechnik.

Studienarbeiten

Gilsdorf, Peter:

Einsatzmöglichkeiten der Ökoeffizienz-methode zur Bewertung von Betriebsmitteln in Energieversorgungsnetzen

Piecha, Sebastian:

Analyse Geothermischer Kraftwerke in Verbindung mit Kraft-Wärme-Kopplung

Schnitzler, Tim:

Blockheizkraftwerke in der dezentralen elektrischen Energieversorgung

Siefen, Kirstin:

Einsatz von Mikroturbinen in der dezentralen elektrischen Energieversorgung

Tersteegen, Bernd:

Analyse von Speichertechnologien in Energieversorgungsnetzen

Toups, Timo:

Hochfrequenz-Konditionierung von Vakuum-Schaltkammern bei unterschiedlichen Schwingkreisinduktivitäten

Veröffentlichungen / Publications

C. Cornelissen, P. Walter, T. Wirz, A. Schnettler:

Automatisierte Ultraschalldiagnostik zur Zustandsbewertung elektrischer Betriebsmittel

In: ETG-Fachbericht 97 - Diagnostik elektrischer Betriebsmittel; VDE Verlag GmbH, Berlin 2004

C. Neumann, A. Schnettler, T. Smolka, et al.:

Electrical Power Supply using SF₆ Technology - an Ecological Life Cycle Assessment

Cigré C3-102, Cigré Symposium, Paris, 2004

C. Cornelissen, T. Wirz, A. Schnettler, I. de Schrijver:

Ultrasonic for quality assessment of HV-joints

Cigré 2004 session, D1-308, Paris (Frankreich) 2004

L. Hulka, G. Pietsch:

Investigations on the discharge structure of coplanar barrier discharges

Proc. XVth Int. Conf. on Gas Discharges and their Applications, Toulouse, France, Sep. 5-10 Vol. 1, pp. 295-298, 2004

T. Suwanasri, A. Schnettler, D. Fricke, A. Noack:

Untersuchung zur Zustandsüberwachung an Hochspannungs-Leistungsschaltern

VDE (ETG) Diagnostik elektrischer Betriebsmittel, 9-10 März 2004, Köln

M. Sokolova, L. Hulka, G. Pietsch:

Influence of a bias voltage on the characteristics of surface discharges in dry air

Hakone IX, Int. Symp. on High Pressure Low Temperature Plasma Chemistry, Padova, Italy, Aug. 23-27, 2004

U. Macharey, A. Schnettler, M. Schwan, T. Smolka:

Einsatz dezentraler Stromerzeugungstechniken in elektrischen Verteilungszentralen unter ökologischen Rahmenbedingungen

VDE Kongress 2004, VDE Verlag GmbH, Berlin, 2004

L. Hulka, G. J. Pietsch:

On the ozone production with coplanar dielectric barrier discharge arrangements

Contribution to the 9th Int. Symp. on High Pressure Low Temp. Plasma Chemistry "Hakone IX", Padova, Italy, 8 pp., 2004

A. B. Saveliev, G. J. Pietsch, A. R. Murtazin:

Removal of gaseous pollutants from air with barrier discharges

Contribution to the 9th Int. Symp. on High Pressure Low Temp. Plasma Chemistry "Hakone IX", Padova, Italy, 8 pp., 2004

G. J. Pietsch, A. R. Murtazin, A. B. Saveliev:

Decomposition mechanisms of some gaseous pollutants in dielectric barrier discharges Proc. 12th Workshop Plasma Technology

Sept. 23rd and 24th Ilmenau, Germany (Ed.: G. Nutsch, ISBN 3-00-014314-9) pp. 24 - 30, 2004

V. I. Gibalov, G. J. Pietsch:

Properties of dielectric barrier discharges in extended coplanar electrode systems

J. Phys D: Appl. Phys. 37, No. 15, 2093-2100, 2004

V. I. Gibalov, G. J. Pietsch:

Dynamics of dielectric barrier discharges in coplanar arrangements

J. Phys D: Appl. Phys. 37, No. 15, 2082-2092, 2004

G. J. Pietsch:

Zum Abbau von Schadgasen mit Barrierenentladungen

Beitrag zur Herbstsitzung des Arbeitskreises Plasmaoberflächentechnologie am 03. November in Wuppertal, 2004



Lehre am ifht

Teaching at ifht

Lehre am ifht

Hochspannungstechnik I (SS)

Dozent: Prof. Dr.-Ing. A. Schnettler
V 2, Ü 1, ab 6. Semester

Inhalt

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

High Voltage Engineering I (Summer Term)

Lecturer: Prof. Dr.-Ing. A. Schnettler
V 2, Ü 1, from 6th semester

Content

- Overvoltages in power systems: Travelling waves, overvoltage protection
- Breakdown-phenomena: Statistics, breakdown in gases, solids and liquids
- Insulation systems and dielectrics

Hochspannungstechnik II (WS)

Dozent: Prof. Dr.-Ing. A. Schnettler
V 2, Ü 1, 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 für Energietechniker
- Technische Exkursion

High Voltage Engineering II (Winter Term)

Lecturer: Prof. Dr.-Ing. A. Schnettler
V 2, Ü 1, from 7th semester

Content

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

Grundlagen der Gasentladungstechnik (WS)

Dozent: Prof. Dr. rer. nat G. J. Pietsch
V 2, Ü1, ab 5. Semester

Inhalt

- Grundbegriffe der kinetischen Gastheorie, Stoßgesetze, Maxwell-Boltzmannsche und Druyvestynsche Geschwindigkeitsverteilung, Wärmeleitung, innere Reibung, (ambipolare) Diffusion, Boltzmannsche Transportgleichung
- Elementarprozesse im Plasma Elektronenanregung, Ionisierung, Dissoziation, Stöße zweiter Art, negative Ionen;
- Ladungsträgererzeugung Volumenionisation; Oberflächenionisation (durch Teilchenstöße, Felder, thermische Ionisation);
- Zünden von Gasentladungen Lawinenzündung, Paschengesetz, Vakuumdurchschlag; Kanaldurchschlag;
- Glimmentladung, Kathodenmechanismen, Ähnlichkeitsbeziehungen; Sonderformen, Dielektrische Barrieren-Entladung
- Lichtbogenentladung, Elektrodenbereiche, Plasmaströmungen, Bogensäule, Charakteristik; Elenbaas-Heller-Gleichung; Wechselstromlichtbogen, dynamische Stromspannungs-Charakteristik; Funke und Blitz.

Basics of Gas Discharge Engineering (Winter Term)

Lecturer: Prof. Dr. rer. nat G. J. Pietsch
V 2, E1, from 5th semester

Content

- Fundamentals of kinetic gas theory, collision processes, velocity distributions of Maxwell-Boltzmann and Druyvesteyn, heat conduction, viscosity, (ambipolar) diffusion, Boltzmann equation
- Elementary processes in plasmas, electron excitation, ionization, dissociation, collisions of the second kind, negative ions
- Generation of charge carriers in the gas volume, on surfaces (by particles, fields, thermal effects)
- Ignition processes, avalanche ionization, Paschen law, vacuum breakdown, streamer mechanism
- Glow discharges, cathode mechanisms, similarity relations, special types, dielectric barrier discharge
- Arcs, electrode regions, plasma flows, arc column, current-voltage characteristic, Elenbaas-Heller equation, AC discharges, dynamic characteristic, high frequency discharges, sparks and lightnings.

Gasentladungstechnik (SS)

Dozent: Prof. Dr. rer. nat G. J. Pietsch
V 2, Ü1, ab 6. Semester

Inhalt

- Gasentladungslampen, Grundlagen der Lichttechnik, Lichtausbeute, Farbwiedergabe, Glimmlampen, Metaldampf- und Edelgasentladungslampen, Beschaltung
- Kontrollierte Kernfusion, physikalische Grundlagen, magnetischer Einschluß, Trägheits-einschluß, Reaktorkonzepte;
- Ozonerzeugung, Elektrische Staubfilter
- Schaltlichtbogen, Beanspruchungen bei Ausschaltvorgängen; Schaltprinzipien in Nieder-, Mittel- und Hochspannungsschaltern; Magnetblas-, Hartgas-, Ölschalter, Öl als Dielektrikum, Druckluft-, SF₆-Schalter, Eigenschaften von SF₆, Vakuumschalter, Lichtbogen im Vakuum, Kontakte
- Beschreibung von Schaltlichtbögen, Elementarprozesse beim Ausschaltvorgang, physikalische Lichtbogenmodelle, Zweipolmodelle.

Gas Discharge Engineering (Summer Term)

Lecturer: Prof. Dr. rer. nat G. J. Pietsch
V 2, E1, from 6th semester

Content

- Gas discharge lamps, basics of lighting engineering, efficacy and efficiency, colour-rendering index, glow discharge lamps, metal vapour and noble gas discharge lamps, wiring
- Controlled nuclear fusion, fundamentals, magnetic inclusion, inertial inclusion, experimental devices, concepts of reactors, risks and endanger
- Ozone generation, electrostatic precipitation
- Switching-arcs, electric stress during the breaking process, switch-off principles, magnetic blow-out-, hard-gas-, oil circuit-breaker, properties of insulating oil, SF₆ circuit breaker, properties of SF₆, vacuum breaker, arcs in vacuum, contacts of vacuum breakers
- Description of circuit breaker arcs, elementary processes during switch-off, physical models, black-box models.

Vorlesung Schutzmaßnahmen und Schutzeinrichtungen in elektrischen Netzen und Anlagen

Dozent: Prof. Dr. rer. nat G. J. Pietsch
V 2, 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
L 2, E 1, 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

Fachdidaktik der Elektrotechnik I-III

Dozent: Prof. Dr. rer. nat G. J. Pietsch
WS V2, SS TÛ2, SS TÛ4, für Lehramtsstudierende SII

Inhalt

- Lehr- oder Lernziel, Lernzieltypen, -kategorien, -niveaus, Gewinnung von Lernzielen, Lernerfolgskontrolle;
- Lernpsychologische und soziologische Aspekte des Unterrichts, Lernformen; Speichervorgang im Gehirn; Lernmotivation, Sozialformen des Unterrichts;
- Lehrstoff, Auswahl, Lehrstoff-Zeit-Problem; Strukturierung, didaktische Reduktion;
- Medien, bildliche Darstellungen, Bild- und raumseitige Anforderungen bei Projektionen;
- Lehrmethoden, Unterrichtsprinzipien, deduktive und induktive Methode; Analogmethode, Projektverfahren, programmierter Unterricht; handlungsorientierter Unterricht; Unterrichtsvorbereitung, pädagogische Vorbereitung, didaktische Analyse, Unterrichtsverlaufsplanung;
- Seminarvorträge;
- Betreuung von Grundlagenpraktika.

Didactics of Electrical Engineering I-III

Lecturer: Prof. Dr. rer. nat G. J. Pietsch
WS V2, SS TÛ2, SS TÛ4, for students of the teaching career at vocational schools

Content

- Teaching and educational objectives, types, categories, levels, development of educational objectives, success control of teaching and learning
- Psychological and sociological aspects of teaching, types of learning, storage processes in the brain, learning motivation, social types of teaching
- Subject matters, choice, subject-time problem, structuring, didactical reduction
- Teaching aids, kinds of figures, demands on illustrations and drawings for projections
- Teaching methods, principles of teaching, deductive and inductive method, method of analogy, project method, programmed instruction, action orientated teaching, preparation of teaching, didactical preparation and analysis, planning of the sequence of teaching steps, types of occupations in the field of electrical engineering.
- Seminar lectures prepared by students
- Preparations of practical courses by students

Energiekabel (WS)

Dozent: Dr.-Ing. D. Meurer
V2, Ü1, ab 5. Semester

Inhalt

- Einleitung: Kabelindustrie, Kabelmarkt, Energiekabel in Netzen, Geschichte, technische Normen, Uebertragungseigenschaften
- Aufbauelemente: Werkstoffe, Leiter, Isolierung, Schirm, Mantel, Armierung
- Bauarten: Nieder-/Mittel-/Hochspannungskabel, EVU-/Spezialkabel
- Produktion: Papierisolierung, extrudierte Isolierung, Leiter/Ader/Kabel
- Qualitätsmanagement: ISO 9000, Qualitätsicherung, Typ-/Auswahl-/Stueckpruefung, Pruefung nach Verlegung, Alterung, Lebensdauer
- Garnituren: Endverschluesse, Muffen, Feldsteuerung, Montagetechniken
- Kabelprojekte: Kabeltrasse, Belastbarkeit, Transport, Verlegung
- Hochleistungskabel: Verluste, Kuehlung, HVDC, gasisolierte Kabel, Tieftemperaturkabel, supraleitende Kabel (LTSC, HTSC)

Power Cable Engineering (Winter Term)

Lecturer: Dr.-Ing. D. Meurer
V2, 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)

Fachdidaktik der Elektrotechnik - Schulpraktische Studien (WS)

Dozent: Stud.-Dir. K. Alscher
V 2, für Lehramtskandidaten S II

Inhalt

- Sekundarstufe II: Ziel, Dauer, Aufnahmebedingungen, Unterricht, Abschlüsse - Mitwirkungsorgane bei der beruflichen Aus- und Weiterbildung - Duale Ausbildung: Schule und Betrieb, Zuständigkeiten. Analyse der Lehr- und Lernsituation, Auswahl und Abgrenzung des Lernstoffes: Vorbildung, schulische Situation, Lernbereitschaft - Ausbildungssituation, Handwerk/Industriebetrieb, überbetriebliche Ausbildung.
- Auswahl und Abgrenzung des Lernstoffes: Wert des Themas für den Schüler, didaktische Analyse - Richtlinien und Lehrpläne industrielle und handwerkliche Elektroberufe nach der Neuordnung - didaktische und fachwissenschaftliche Orientierungspunkte für Unterrichtsmethoden - Prinzip des Exemplarischen - Grundsätze der Lernerfolgsüberprüfung.
- Vor- und Nachbereitung des schulpraktischen Einsatzes: Berufe, Auswahl der entsprechenden Schulformen - Erstellung von Unterlagen für den Einsatz in der Schule - Berichterstattung, Referat, evtl. Unterrichtsversuch sowie Hilfestellung zu fachdidaktischen Fragen - Qualifikationsanforderungen elektrotechnischer Berufe.

Schaltgeräte und Schaltanlagen (SS)

Dozent: Prof. Dr.-Ing. A. Schnettler
Dr.-Ing. M. Schumacher,
ABB Calor Emag
Hochspannung GmbH

ab 6. Semester

Inhalt

- Schaltgeräte: Grundlagen, Bauarten, Funktionsweisen, Normen
- Schaltanlagen: Bauweise, Instandhaltungsmanagement

Siehe Bericht auf Seite 102

Praktika am ifht

Energietechnisches Praktikum I (SS)

TÜ 4, ab 6. Semester

Inhalt

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

- Wechselfspannungsmessung und Durchschlagsuntersuchungen
- Gleichspannungserzeugung und -messung
- Stoßspannungserzeugung

Laboratory in Electrical Power Engineering I (Summer Term)

TÜ 4, 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

Energietechnisches Praktikum II (WS)

TÜ 4, 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 II (Winter Term)

TÜ 4, 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

TÜ 4, ab 7. Semester für Elektrotechniker

Inhalt

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

High Voltage Laboratory

TÜ 4, 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

Elektrotechnisches Praktikum I (SS)

TÜ 3, 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

Laboratory in Electrical Engineering I (Summer Term)

Content

This laboratory contains 8 basic experiments to achieve knowledge in measurement and experimental techniques:

- Current and voltage sources
- DC Voltage divider
- Measurement in linear networks
- Simulation of linear networks
- Diodes and Transistors
- Op-amp (Measurement)
- Op-amp (Simulation)
- Measurement of non-electrical parameters

Physikalisch-technische Laborübungen für Maschinenbauer (SS)

TÜ 4, 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

Physical Technical Laboratory (PTL) for students in mechanical engineering (Summer Term)

Teamwork of the Faculty of Electrical Engineering, the Faculty of Mechanical Engineering and the Faculty of Mathematics and Natural Sciences.

Content

Within this laboratory four experiments are offered by the Institute of High Voltage Engineering:

1. Power sources, transformers
2. Enlargement of measuring range, instrument transformers, power meters in three-phase systems
3. Electron beam oscilloscope, rectification
4. Digital measurement techniques







Chronik

VDE Seminar

Aktivitäten 2004

Exkursionen

Chronicle

VDE Seminar

Activities in 2004

Technical Excursions



Chronik 2004

- 12.01.04
Doktorprüfung von Andreas Breuer an der Technischen Universität Darmstadt
Korreferat: Armin Schnettler
- 20.01.04
Traditionelles Sprotenessen zum neuen Jahr mit Vortrag über Brasilienreise 2003
- 21.01.04
Armin Schnettler und Dr. Börmann, VDE, vereinbaren mit Frau Ministerin Wolf, Hessisches Kultusministerium, eine engere Kooperation zum Thema „Energietechnik für Schulen“ u. a. zwischen dem Land Hessen mit dem VDE/ETG
- 21.01. - 23.01.04
FGH/AKEI-Seminar „Lastfluss- und Kurzschlussberechnungen in Theorie und Praxis“
Teilnehmer: Uwe Macharey und Thomas Smolka
- 22.01.04
Workshop zum EU-Projekt YTRID in Eindhoven
Teilnehmer: Gerhard Pietsch
- 24.01. - 31.01.04
DAAD-Vorauswahlsitzung für Studienbewerber aus der russischen Föderation in Moskau
Teilnehmer: Gerhard Pietsch
- 27.01.04
Vortrag von Armin Schnettler im „Forum Berlin“: „Ursachen der Blackouts 2003 und Schlussfolgerungen für Deutschland“
- 03.02.04
Übernahme des Korreferats bei der Doktorprüfung von Pariya Cumpe-rayot zum Thema „Effects of Modeling Accuracy on the System Marginal Costs Simulation in deregulated Electricity Markets“ in Aachen durch Prof. Schnettler
- 04.02. - 15.02.04
Dr. Trushkin vom “Troitsk Institute for Innovation and Fusion Research (TRINITI)” hält sich zu einem Arbeitsbesuch am Institut auf
- 10.02. - 12.02.04
Gemeinsamer Messestand von FGH, Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft (IAEW, Prof. Haubrich) und Institut für Hochspannungstechnik auf der E-world in Essen
- 21.02. - 26.02.04
Auswahlsitzung des Russlandfonds der Deutschen Wirtschaft für russische Nachwuchsführungskräfte sowie für das DAAD/Siemens-Masterprogramm für Ingenieurnachwuchs in Moskau
Teilnehmer: Gerhard Pietsch
- 22.02.04
Traditioneller „Hochspannerball“ in diesem Jahr erstmalig am Karnevals-sonntag. Tolle Stimmung bei vollem Haus.
- 01.03. - 03.03.04
19th Umbrella-Symposium - „Nanotechnologie“, Forschungszentrum Jülich
Teilnehmer: Junliang Wu

- 01.03. - 02.03.04
Sitzung der Auswahlkommission des DAAD-Sonderprogramms „Akademischer Aufbau Südosteuropa“
Teilnehmer: Gerhard Pietsch
- 01.03.04
Erster Arbeitstag von Joanne Beesley. Sie absolviert ein 4 monatiges Praktikum im Rahmen ihrer Fachhochschulausbildung.
- 06.03. - 12.03.04
Armin Schnettler besucht die Partnerhochschule KMITNB in Bangkok, Thailand. Vorbereitung der jährlich stattfindenden Vorlesung und Vorbereitung der Gründung eines Zentrums für elektrische Energietechnik in Bangkok.
- 09.03. - 10.03.04
ETG-Fachtagung „Diagnostik elektrischer Betriebsmittel“ in Köln
Teilnehmer: Christian Cornelissen, Philipp Walter, Torsten Wirz, Thanapong Suwanasri
- 10.03.04
Kolloquium „Nanokomposite und Hybridmaterialien - Anorganische Nanopartikel in Polymer-Werkstoffen“ am Max-Planck-Institut in Mühlheim
Teilnehmer: Junliang Wu
- 10.03. - 11.03.04
DAAD-Auswahlsitzung für Stipendiaten aus der russischen Föderation in Bonn-Bad Godesberg
Teilnehmer: Gerhard Pietsch
- 22.03.04
Sitzung des Fachbereichs ETG V2 „Übertragung und Verteilung Elektrischer Energie“ in Berlin
Teilnehmer: Armin Schnettler
- 24.03.04
ETG-Vorstands- und Beiratssitzung in Berlin
Teilnehmer: Armin Schnettler
- 26.03.04
Sitzung des Stiferverbandes der Deutschen Wirtschaft im Siemens-Forum München
Teilnehmer: Armin Schnettler
- 29.03. - 02.04.04
Thomas Honné absolviert ein einwöchiges Berufserkundungspraktikum für die Ausbildung zum „Mathematisch Technischen Assistenten“
Betreuer: Ralph Wegner
- 30.03.04
Besuch der Hochspannungsprofessoren Volker Hinrichsen (TU Darmstadt), Michael Kurrat (TU Braunschweig) und Thomas Leibfried (TU Karlsruhe) bei Armin Schnettler in Aachen
- 31.03.04
Letzter Arbeitstag von Pinit Jitjing
- 31.03.04
Besuch von Dr. Lührmann, Geschäftsführer der Maschinenfabrik Rheinhausen
- 31.03.04
Verwaltungsratsitzung der FGH in Aachen
- 01.04.04
Erster Arbeitstag von Kittipong Anantavanich
- 01.04.04
Erster Arbeitstag von Andrei Machkine

06.04.04
 Besuch von Mr. Toshiyuki Uchii, High Power Technology Group, Firma T & D Research & Development Center TMT & D Corporation, Kawasaki, Japan
 Teilnehmer: Gerhard Pietsch, Armin Schnettler, Anatoli Saveliev

13.04. - 23.04.04
 Dr. M. Sokolova vom Moskauer Energetischen Institut besucht das Institut im Rahmen einer Zusammenarbeit

15.04.04
 Informationsveranstaltung von UMBERTO mit Schulung und Wissensaustausch
 Teilnehmer: Martina Prox (Institut für Umweltinformatik Hamburg), Uwe Macharey, Thomas Smolka, Eva Marie Linne

27.04.04
 Auswahlstzung für Stipendiaten aus ausgewählten osteuropäischen Staaten der Mummert-Stiftung in Bonn-Bad Godesberg
 Teilnehmer: Gerhard Pietsch

28.04. - 30.04.04
 Auswahlstzung für Lomonossov-Stipendiaten der Russischen Föderation in Moskau
 Teilnehmer: Gerhard Pietsch

30.04.04
 Sitzung der Arbeitsgruppe Energie des Umweltforums am Institut
 Teilnehmer: Armin Schnettler, Thomas Smolka, Uwe Macharey

03.05. - 08.05.04
 Besuch von Prof. Dr. Viboon Chunkag, Dr. Teratam Bunyayul und M. Sc. Khun Srawut Kleesuwan vom KMITNB, Thailand, in Aachen

04.05.04
 Erster Arbeitstag von Danial

06.05. - 07.05.04
 Plenarversammlung des Fakultätentages Elektrotechnik und Informationstechnik in Dortmund
 Teilnehmer: Gerhard Pietsch

12.05. - 13.05.04
 Teilnahme an IEEE Inter-Society Chapters Workshop and Joint Meetings of the IEEE IAS/PEL/IES and IEEE PES German Chapter in Berlin.
 Teilnehmer: Armin Schnettler, Philipp Walter

13.05.04
 Philipp Walter erhält die Auszeichnung „Best Diploma Thesis Award 2004“ des IEEE PES German Chapter in Berlin



14.05.04
 22 Teilnehmer bei der Exkursion zur FGH Mannheim

15.05.04

Teilnahme der Exkursionsteilnehmer am 1. Dämmermarathon Mannheim. Erfolgreiches Abschneiden des Teams führt zum dem Beschluss, auch in Zukunft daran teilzunehmen

17.05. - 18.05.04

Jahrestagung der VDEW-Landesgruppe Berlin Brandenburg. Armin Schnettler berichtet über „Blackouts 2003 - Ursachen und Schlussfolgerungen“

28.05. - 07.06.04

Lutz Hulka und Gerhard Pietsch besuchen das Moskauer Energetische Institut (MEI), die Moskauer Staatliche Universität (Lomonossov) sowie das Troitsk Institute for Innovation and Fusion Research (TRINITI) im Rahmen einer Zusammenarbeit

31.05.04

Letzter Arbeitstag von Andrei Machkine

31.05. - 04.06.04

Exkursion nach Lübeck

08.06.04

Monats-Meeting zu einem EU-Project zur Luftreinhaltung mittels nicht-thermischer Entladungen in Lyon / Frankreich
Teilnehmer: Gerhard Pietsch, Anatoli Saveliev

15.06. - 16.06.04

VDN-Fachkongress „Treffpunkt Netze 2004“ in Berlin
Teilnehmer: Armin Schnettler

18.06.04

Übernahme des Korreferats bei der Doktorprüfung von Hendrik Vennegeerts zum Thema: „Zuverlässigkeitstechnische und wirtschaftliche Bewertung der Instandhaltung in elektrischen Verteilungsnetzen“, RWTH Aachen, durch Prof. Schnettler

18.06.-20.06.04

Traditionelles Segelwochenende am Veerse Meer



25.06.04

Betriebsausflug nach La Roche, Belgien, mit anschließender Geburtstagsfeier bei Professor Pietsch

30.06.04

Letzter Arbeitstag von Anatoli Saveliev

05.07. - 06.07.04

Seminar „Hoch- und Mittelspannungsschaltgeräte und -anlagen“ RWTH Aachen in Zusammenarbeit mit VDE BV Regio Aachen, FGH und AGLAC
Leiter: Dr. Martin Schumacher, ABB Calor Emag Hochspannung GmbH

<p>09.07.04 Besuch von Professor Kondyu Andonov, Dept. Electrical Power Engineering, University of Rouse am Institut</p>	<p>06.09. - 10.09.04 XVth International Conference on Gas Discharges & their Applications in Toulouse, Frankreich Teilnehmer: Lutz Hulka, Gerhard Pietsch</p>
<p>02.08.04 Erster Arbeitstag von Dr. Ueno Hideki</p>	<p>17.09. - 18.09.04 Ehemaligentreffen am ifht</p>
<p>02.08.04 Erster Arbeitstag von Renate Bosetti</p>	<p>23.09. - 24.09.04 12th Workshop „Plasma Technology“ in Ilmenau Teilnehmer: Gerhard Pietsch</p>
<p>06.08. - 11.08.04 Prof. Schnettler hält Vorlesung „High and Medium Voltage Switchgears and Substations“ am King Mongkut Institute of Technology North Bangkok, Thailand</p>	<p>29.09. - 01.10.04 FGH Fachtagung „Anlagen- und Versorgungsqualität“ in Zusammenarbeit mit ETG und VDN in Heidelberg Teilnehmer: Armin Schnettler</p>
<p>23.08. - 27.08.04 9th International Symposium on High Pressure, Low Temperature and Plasma Chemistry (HAKONE IX) in Padua, Italien Teilnehmer: Gerhard Pietsch, Lutz Hulka, Anatoli Saveliev</p>	<p>29.09. - 30.09.04 Vorfürhungen im Rahmen des Projektes „Mädchen in Technik und Handwerk“ Betreuung durch Robert Dommerque</p>
<p>27.08.04 8. Fußballturnier der Fakultät für Elektrotechnik Teilnehmer: Uwe Macharey, Michael Schmale, Thomas Smolka, Philipp Walter, Torsten Wirz</p>	<p>30.09.04 Letzter Arbeitstag von Renate Kessels</p>
<p>31.08.04 Letzter Arbeitstag von Roberto Retana</p>	<p>01.10.04 Erster Arbeitstag von Christoph Kahlen</p>
<p>01.09.04 Erster Arbeitstag von Manuel Lindner, Ausbildung - Industriemechaniker Ausbilder: Helmut Gehlen</p>	<p>05.10. - 06.10.04 Teilnahme an der IDS-Fachtagung „Leittechnik und Netzbetrieb“ Vortrag: „Asset Management für elektrische Verteilnetze“, Armin Schnettler</p>
	<p>10.10. - 14.10.04 IEEE-Konferenz „Power Systems Conference and Exposition“ in New York Teilnehmer: Philipp Walter</p>

18.10.04

Erster Arbeitstag von Markus Breuer, Praktikum - Fachrichtung Anwendungsentwicklung für den Beruf IT - Fachinformatiker

Betreuer: Thomas Smolka

18.10. - 20.10.04

VDE-Kongress in Berlin

Teilnehmer: Armin Schnettler, Christian Cornelissen, Lutz Hulka, Uwe Macharey, Michael Schmale, Thomas Smolka, Alexander Tröger

19.10.04

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. (Ro) Klaus Möller erhält vom VDE Verband der Elektrotechnik in Berlin den VDE-Ehrenring in Würdigung seiner herausragenden, international anerkannten Arbeiten zur physikalischen Modellbildung und Simulation von Hochstromschaltlichtbögen und deren Umsetzung in die elektrische Energietechnik

19.10.04

Verleihung des VDE-ETG-Awards 2004 an Christian Cornelissen

02.11.04

Erster Arbeitstag von Eva Marie Linne

03.11.04

Fünf vor Zwölf: RWTH-Wissenschaftsnacht: „Hochspannungstechnik zum Anfassen“

Betreuung durch Armin Schnettler, Robert Dommerque

03.11.04

Herbstsitzung des Arbeitskreises Plasma in Wuppertal

Teilnehmer: Gerhard Pietsch

13.11.04

Traditionelles „Hochwissenschaftliches Kolloquium“ am ifht; Übergabe des „Mannes mit der ruhigen Kugel“ an den neuen Hektiker Michael Schwinne

15.11. - 19.11.04

Besuch von Bernhard Heil und Michael Schmale in Warschau im Rahmen eines Partnerschaftsabkommens mit der TU Warschau

17.11.04

Besuch einer chinesischen Delegation des Forschungsinstituts Jiangsu Provincial Electric Power CO. LTD. am Institut

Betreuung durch Christian Cornelissen, Junliang Wu

07.12. - 08.12.04

Abschluss-Meeting zu einem EU-Projekt zur Luftreinhaltung mittels nicht-thermischer Entladungen in Lyon, Frankreich

Teilnehmer: Gerhard Pietsch

10.12.2004

Verleihung des ABB-Preises 2004 für eine herausragende Dissertation auf dem Gebiet der Energietechnik an Christian Cornelissen

13.12.2004

Medaille der Stiftung Werner-von-Siemens-Ring an Christian Cornelissen

12.12. - 18.12.04

Dr. Tongonokov von der Technischen Universität St. Petersburg besucht unser Institut

Seminar Hoch- und Mittelspannungsschaltgeräte und -anlagen 5.7. - 6.7. 2004

Das Blockseminar wurde als Weiterbildungsveranstaltung des Instituts für Hochspannungstechnik in Zusammenarbeit mit dem VDE-Regio Aachen am 5. - 6. Juli 2004 angeboten.

Insgesamt 13 Referenten aus der Industrie gaben einen umfassenden Überblick über den Aufbau, die Funktionsweise von Komponenten und Anlagen der elektrischen Energieübertragung und -verteilung. Für die Seminarleitung konnte, wie schon in den letzten Jahren, Herr Dr.-Ing. Schumacher gewonnen werden.

Ausgehend von den physikalischen Grundlagen wurde die Schaltgeräte- und Anlagentechnik bis zu wirtschaftlichen Aspekten umfassend behandelt.

Neben der Funktionsweise eingesetzter Geräte, wie z. B. Schaltgeräte, Schaltanlagen oder Schutzeinrichtungen wurden Betriebserfahrungen mit moderner Anlagentechnik aus Sicht der Energieversorgungsunternehmen präsentiert und Informationen über gültige Vorschriften und Normen gegeben.

Das Seminar-Programm gliederte sich in folgende Vorträge:

- **Begrüßung**
Dipl.-Ing. Michael Angenend
VDE
- **Einführung in die Thematik**
Dr.-Ing. Martin Schumacher,
ABB Calor Emag Schaltanlagen
AG, Hanau-Großauheim

- **Schaltlichtbögen**
Dr.-Ing. Max S. Claessens,
ABB Hochspannungstechnik
AG, Zürich
- **SF₆-Hochspannungsleistungsschalter**
Dr.-Ing. Roland von Starck,
Siemens AG, Berlin
- **Vakuumschalter**
Dr.-Ing. Burkhard Fenski,
ABB Calor Emag Mittelspannung
GmbH, Ratingen
- **Last-/Trennschalter**
Dr.-Ing. Thomas Betz,
ABB Calor Emag Schaltanlagen
AG, Hanau-Großauheim
- **Hochspannungssicherungen**
Dipl.-Ing. Johannes-Georg
Goedeke,
Sicherungen GmbH, Lünen
- **Leistungstransformatoren**
Dr.-Ing. Stefan Tenbohlen,
Alstom T&D, Möchengladbach
- **Einführung in die Anlagentechnik**
Dr.-Ing. Martin Schumacher,
ABB Calor Emag Schaltanlagen
AG, Hanau-Großauheim
- **Hochspannungsschaltanlagen**
Dr.-Ing. Uwe Kaltenborn,
ALSTOM Energietechnik
GmbH, Transmission & Distribution,
Frankfurt am Main
- **Schutz- und Stationsleittechnik**
Dr.-Ing. Siegfried Lemmer,
Siemens AG, Nürnberg

- **Betriebserfahrungen mit moderner Anlagentechnik**
Dr.-Ing. Heinrich Hoppe-Oehl,
RWE Net AG, Dortmund
- **Ortsnetzstationen**
Dr.-Ing. Gisbert Brüggemann,
Schneider Electric, Ratingen
- **Mittelspannungsfelder und -schaltanlagen**
Dr.-Ing. Stefan Göttlich,
ABB Calor Emag Mittelspannung GmbH, Ratingen
- **Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen in der Entwicklung**
Dr.-Ing. Hartmut Knobloch,
Siemens AG, Berlin
- **Instandhaltungsstrategien**
Prof.Dr.-Ing. Armin Schnettler,
RWTH Aachen, Institut für Hochspannungstechnik



Exkursion

Die Teilnehmerzahl lag bei insgesamt 60 Personen. Aufgrund der hohen Resonanz und positiven Kritik soll das Seminar auch 2005 wieder angeboten werden. Abgerundet wurde das Programm durch eine Exkursion zur Schaltanlage Aachener Kreuz. Bei allen Vortragenden und der STAWAG, Aachen möchten wir uns an dieser Stelle noch einmal herzlich bedanken.



Betriebsausflug am 25.06.2004 nach La Roche-en-Ardenne

La Roche-en-Ardenne

In diesem Jahr ging der Betriebsausflug nach La Roche-en-Ardenne. La Roche-en-Ardenne ist ein charmantes Städtchen und liegt mitten im Herzen der belgischen Ardennen am Ufer der Ourthe, die auch das Ziel für den größten Teil unserer Gruppe war, da der Tag sportlich geprägt sein sollte. Daher wurden Kanus gemietet, mit denen auf der Ourthe gepaddelt wurde. Die Übrigen, die nicht paddelten, hatten unter Anderem die Möglichkeit, die Ruine einer Burg aus dem 12. Jahrhundert, eine Minigolfanlage, das Museum der Schlacht um die Ardennen, ein Wildgehege oder den historischen Ortskern zu besuchen.



Burgruine

Außerdem bereiteten diejenigen, die ihre Zeit mit dem Stadtbummel verbrachten, für die Kanuten den Halbzeitimbiss vor.

Kanutour auf der Ourthe

Der Großteil der Gruppe nutzte die Gelegenheit, vorbei an beschaulichen Auen und Wäldern mit den Kajaks zu neuen Ufern aufzubrechen. Vor Beginn der Tour gingen alle davon aus, dass die

Ourthe ausreichend Wasser führte, da es in den vorhergehenden Tagen zumindest in Aachen regelmäßig geregnet hatte. Demnach sollten nur einige Stromschnellen als Hindernis dienen. Die Ardennen wurden vom Regen aber weitestgehend verschont, so dass der Tiefgang der Kanus einigen zum Verhängnis wurde. Aufgrund des Wetters und der paddeltechnischen Unerfahrenheit mussten einige Kanuten bereits zur Pause ihre Kleidung wechseln. Zum Glück stand der Bus mit Speisen, Getränken und warmer Kleidung bereit, so dass die zweite Hälfte zumindest äußerlich trocken und durch die mitgebrachten Brötchen, den Aufschnitt und -strich innerlich gestärkt angetreten werden konnte.



Stärkung bei der wohlverdienten Pause

Nach der Pause wurden die Boote wieder bestiegen, um die zweite Hälfte anzutreten. Untiefen und Sandbänke sorgten - insbesondere nach der Stärkung - für einige unfreiwillige Begegnungen des Flussbettes, was zur allgemeinen Heiterkeit beitrug.



Befreiung des Kanus

Gerade im Bereich der Untiefen entwickelte sich ein sportlicher Wettstreit, wer diese Passagen am besten überwindet. Mit Glück, Geschick und Ausdauer haben es letztlich alle bis zum Ziel geschafft. Die Anstrengungen des Tages waren einigen deutlich ins Gesicht geschrieben. Nachdem sich alle wieder trocken bekleidet hatten, konnte die Heimreise angetreten werden.



Entspannen nach getaner Arbeit

Ausklang

Für den Abend hatte die Familie Pietsch die Mitarbeiter anlässlich des 65. Geburtstages von Herrn Professor Pietsch zum Grillen eingeladen. Die Mehrheit der Mitarbeiter setzte sich daher ins Auto oder aufs Fahrrad und fuhr nach Burtscheid. Es gab reichlich zu essen und zu trinken, so dass bald Hunger und Durst gestillt waren.



Grillen bei Familie Pietsch

Gott sei Dank, blieb es den ganzen Abend trocken, so dass die extra aufgebauten Pavillons nicht benötigt wurden. Bei Speis und Trank wurde der Abend genutzt, die Ereignisse des Tages und des letzten Jahres in gemütlicher Runde Revue passieren zu lassen.

Ehemaligentreffen 2004

Am 17.09.2004 fand das Ehemaligentreffen des Instituts für Hochspannungstechnik statt. Zu diesem "Hochspannungstechnischen Kolloquium", so der offizielle Name, lud Professor Schnettler alle ehemaligen Mitarbeiter des Instituts ein. Das Programm umfasste folgende Punkte:

Freitag, 17.09.2004

10:00 Uhr Eintreffen in der Hochspannungshalle
 10:30 Uhr Begrüßung
 Prof. Dr.-Ing. A. Schnettler
 10:45 Uhr Vorträge
 12:15 Uhr Pause mit Imbiss
 13:15 Uhr Vorträge
 14:45 Uhr Pause
 16:45 Uhr Rundgang

Abendveranstaltung

19:30 Uhr Kurparkterrassen
 Festvortrag
 Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. (Ro) K. Möller

Samstag, 18.09.2004

09:30 Uhr Rahmenprogramm

Als Veranstaltungsorte für den wissenschaftlichen Teil des Ehemaligentreffens dienten wie üblich die Hochspannungshalle und der Hörsaal EPH. Dieses Jahr wurde der neue Seminarraum für die Kolloquiums-Pausen genutzt, welcher gegenüber des Geschäftszimmers liegt. In diesen Räumen befand sich noch im vorherigen Jahr die mechanische Werkstatt welche in die Mittelspannungshalle umgezogen ist.

Dem Kolloquium schloß sich der Laborrundgang an, welcher Gelegenheit bot die Theorie in der praktischen Umsetzung zu sehen und die fachliche Diskussion mit dem jeweiligen Assistenten zu vertiefen.



Dem wissenschaftlichen Teil folgte der Feierliche, zu dem Professor Schnettler in die Kurparkterrassen in Burtscheid einlud. Der Abend begann mit einem Sektempfang und begeisterte nicht nur durch das sehr gute Buffet, sondern vor allem durch das kulturelle Rahmenprogramm. Dieses umfasste neben den musikalischen Darbietungen des Bläserquartetts mit Herrn Hulka, den Festvortrag von Professor Möller zu dem Thema "Blitz und Donner". In seinem Vortrag referierte Professor Möller ausführlich über die Geschichte von Blitzdarstellungen in der Kunst und Musik. Anschaulich führte er das Auditorium mit zahlreichen Bildern und



Musikeinspielungen, von der Antike über biblische Beispiele, wie das Unwetter auf dem See, bis in die Neuzeit.



Ein weiterer Höhepunkt des Abends war die Laudatio von Professor Schnettler an Professor Pietsch, der bereits seit Juni 2004 Pensionär ist. Er legte mit treffenden Worten besonderen Wert darauf, dass es sich bei seiner Rede nicht um eine Abschiedsrede handelt, da Professor Pietsch dieses Ehemaligentreffen nicht als seine Verabschiedungsveranstaltung ansieht. Nach wie vor kommt er seiner Lehr- und Forschungstätigkeit am Institut nach. Als symbolisches Geschenk überreichte Professor Schnettler ihm einen Fahrradparkausweis, welcher dazu bevollmächtigt, Fahrräder innerhalb von Objekten der RWTH-Aachen abzustellen, welches seit dem Rundschreiben des Rektors vom 12.07.2004 untersagt ist. Dieses Geschenk, welches keinen Gedanken an Abschied aufkommen läßt, nahm Professor Pietsch gerne an und stieß mit Professor Schnettler auf die weitere gute Zusammenarbeit an.



Das Rahmenprogramm am Samstagmorgen begann mit einer Besichtigung der Printenbäckerei Klein. Bäckermeister Herr Klein führte die interessierten Gäste persönlich durch seine Backstube. Er referierte nicht nur über den Herstellungsprozess der Aachener Printe, sondern berichtete auch über die Geschichte des Aachener Traditionsgebäcks, seine geographischen Ursprünge und wie es früher hergestellt wurde. Es wurden die Merkmale der unterschiedlichen Printen herausgestellt, vor allem die deutlichen Unterschiede zur industriell gefertigten Printe.



Nach der Besichtigung gab es anschließend im Café Besitos im Kapuzinerkarree die Gelegenheit, das Ehemaligentreffen bei einer Tasse Kaffee ausklingen zu lassen. Das gute Wetter verhalf dabei dem Ehemaligentreffen 2004 zu einem gelungenen Abschluß.

Exkursion nach Mannheim 2004

Bei der letzten Hochspannungstechnik-Vorlesung des Jahres 2003 entstand bei einem Gespräch mit Studenten die Idee, ein Team aus Studenten und Mitgliedern des Ifht für den Dämmer-Marathon durch die Innenstadt von Mannheim zu stellen. Professor Schnettler sagte spontan zu, einen Sponsor zu finden der die Startgebühren für die teilnehmenden Läufer übernimmt. Da von vielen der Studenten ausserdem noch der Wunsch geäußert wurde, die FGH kennenzulernen, wurde das Projekt Mannheim 2004 zu einer dreitägigen Exkursion ausgeweitet, die sowohl unter den Studenten als auch den IfHT-lern großen Zuspruch fand.

Freitag, 14.05.2004

Eine Gruppe von 13 Studenten und 8 Assistenten macht sich auf den Weg nach Mannheim. Erstes Ziel ist die Forschungsgemeinschaft Hochspannungstechnik (FGH) der RWTH-Aachen. Dort werden die Sportler bereits von Professor Schnettler erwartet. Es folgt eine Vorstellung der FGH mit einer sehr interessanten technischen Führung durch die Anlagen der FGH. Das Highlight des Rundgangs ist eine Vorführung eines Fremdstoffüberschlags in der Salznebelkammer der FGH. Ein wirklich beeindruckendes Schauspiel!



Fremdschichtüberschlag eines Stützers

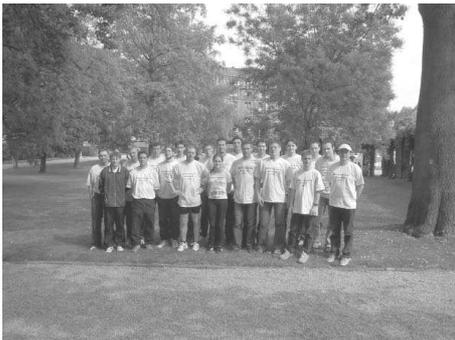
Nach dem Mittagessen steuert der Bus das Sporthotel in Viernheim an, in dem alle Exkursionsteilnehmer untergebracht sind. Die Zimmer sind schnell verteilt und danach steht die Vorbereitung für den sportlichen Teil der Exkursion auf dem Programm. Bei einem Waldlauf in leichtem Tempo werden die Muskeln gelockert und auf die Anstrengungen des nächsten Tages vorbereitet. Abends stürzen sich einige der Studenten in das rege Mannheimer Nachtleben, der Rest der Gruppe nimmt die Einladung von Professor Schnettler zu einem Abendessen in einer Viernheimer Pizzeria an.



Abendessen in einer Pizzeria in Viernheim

Samstag, 15.05.2004

Da jeder Sportler seine eigene Strategie hat, sich auf einen Wettkampf vorzubereiten, ist der Vormittag zur freien Verfügung. Startpunkt des Marathons ist der Mannheimer Wasserturm und die meisten nutzen die Zeit um ihre Startnummern bereits im Vorfeld abzuholen und bei strahlendem Sonnenschein durch die Mannheimer Innenstadt zu schlendern. Bei dieser Gelegenheit wird von vielen auch die Marathonmesse besucht, bei der alles, was das Läuferherz begehrt, zu relativ günstigen Preisen angeboten wird. Nachmittags finden sich alle am Wasserturm für das obligatorische Gruppenfoto ein.



Teilnehmer am 1. MLP-marathon

Anschließend begeben sich die Sportler, nach Wettkampfgruppen geordnet, an den Start: neben den Marathonläufern gibt es auch einige, die beim Team-Marathon (vier Läufer laufen einen Marathon als Staffel) oder beim Inline-Halbmarathon starten. Für alle Läufer wird der Marathon ein voller Erfolg, nach einer mittleren Zeit von unter 4 Stunden erreichen die Läufer das Ziel (allerdings fällt die Varianz doch recht groß aus).

Sonntag, 16.05.2004

Nach einer ruhigen Nacht, in der sich die Sportler von den Strapazen des Marathon-Laufs erholen können, beginnt der Tag mit einem ausgiebigen Sportlerfrühstück. Anschließend geht es mit dem Bus wieder zurück nach Aachen. Aufgrund der guten Resonanz und der hervorragenden sportlichen Leistungen ist für 2005 eine weitere Marathon-Exkursion geplant.

Pfingst-Exkursion nach Norddeutschland

Die diesjährige Studenten-Exkursion führte uns in der Woche vom 31.05.-04.06.2004 in den hohen Norden Deutschlands. Im Rahmen der Exkursion besuchten wir den Windanlagenhersteller Enercon in Aurich, das Kernkraftwerk Brokdorf, die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsstation der Firma EON in Lübeck-Herrenwyk sowie die ABB Calor Emag Mittelspannung GmbH in Ratingen. Neben den technischen Stationen hatten wir noch die Gelegenheit, die Städte Lübeck und Hamburg zu besichtigen.

Lübeck

Am Montag den 31.05.2004 um 7:45 Uhr trafen wir uns vor dem Hauptgebäude der RWTH, um frühzeitig in Richtung Norden aufbrechen zu können. Auf der Hinfahrt blieben wir von Staus verschont und trafen somit schon gegen 14 Uhr in Lübeck ein. In Lübeck bezogen wir daraufhin zuerst unsere Unterkunft, die sich in der dortigen Jugendherberge befand.



Grillen in Lübeck



Holstentor in Lübeck

Einen gelungenen Tagesabschluss stellte das gemeinsame Fußballspiel der Exkursionsteilnehmer und das anschließende Grillen dar.

Enercon in Aurich

Am nächsten Tag war wiederum frühes Aufbrechen notwendig, da ein Besuch der Firma Enercon in Aurich in Ostfriesland auf dem Programm stand. Dort hatten wir die Möglichkeit uns die Montage der Komponenten in der Gondel einer Windkraftanlage und die Generatorenfertigung anzusehen. Nach Rundgang in den Fertigungshallen fuhr wir mit dem Bus zum nahegelegenen Windpark Holtriem, der aus 35 Enercon E-66 Anlagen mit je 1,5 MW Leistung besteht.



Windkraftanlagen in Holtriem

Eine der Windkraftanlagen im Windpark ist mit einer Aussichtsplattform ausgestattet, die wir besichtigen konnten. Es war sehr interessant, einmal aus nächster Nähe mitzubekommen, welchen Schwankungen eine Windkraftanlage bedingt durch wechselndes Windangebot und Windrichtung ausgesetzt ist.



WEA mit Aussichtsplattform

Kernkraftwerk Brokdorf

Am Mittwoch besuchten wir das Kernkraftwerk Brokdorf, insbesondere das Maschinenhaus sowie die Hochspannungsschaltanlage. Auf Grund verschärfter Sicherheitsbestimmungen konnten wir den Sicherheitsbereich mit unserer 40 Personen umfassenden Gruppe leider nicht besichtigen. Aber auch die technische Führung durch das Maschinenhaus und die Hochspannungsschaltanlage des Kernkraftwerkes waren sehr interessant.



Kernkraftwerk Brokdorf

Beim Rundgang durch die Schaltanlage konnte jeder Teilnehmer die aus der Vorlesung bekannten Betriebsmittel und Anlagen aus der Nähe betrachten und Details über die Schaltanlage erfahren. Nach einer abschließenden Diskussion über die zukünftige Stromversorgung in Deutschland fuhren wir zurück nach Lübeck, wo der Abend zur freien Verfügung stand.

HGÜ in Lübeck-Herrenwyk

Am folgenden Morgen besuchten wir die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsanlage der Firma EON in Lübeck-Herrenwyk. Das Baltic Cable wurde Anfang der neunziger Jahre für rund 250 Millionen Euro verlegt und 1994 in Betrieb genommen. Es handelt sich um eine 450-kV-Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ) über 262 km Länge mit je einer Konverterstation auf schwedischer und deutscher Seite. Die HGÜ-Verbindung ermöglicht den Stromaustausch zwischen den unterschiedlichen Verbundsystemen Skandinaviens und Westeuropas und ist für eine Kapazität von 600 MW ausgelegt. Während unseres Rundgangs durch die Anlage wurden uns die Funktionsweisen und Aufgaben der einzelnen Betriebsmittel und Anlagen erläutert.



Komponenten der HGÜ in Lübeck-Herrenwyk

Auf unserem Rundgang bekamen wir auch ein Stück des durch das Fährschiff Nils Holgersson am 16. März 2002 beschädigten Kabels zu sehen. Das Fährschiff schrammte mit seinem Kiel über das auf dem Flußgrund verlaufende Kabel. Der Stromfluß zwischen Deutschland und Schweden brach daraufhin sofort zusammen, wie uns unsere beiden kompetenten Führer berichteten.

Hamburg

Nach unserer Ankunft im Hamburger Hafen erkundeten wir diesen zuerst per Schiff, bevor jeder Teilnehmer die Gelegenheit hatte, Hamburg auf eigene Faust hin zu erkunden. Am frühen Abend fuhren wir zurück in unsere Jugendherberge nach Lübeck, wo es galt unsere Sachen zu packen, da am frühen nächsten Morgen bereits die Heimfahrt auf dem Programm stand.



Exkursionsgruppe in Hamburg

ABB in Ratingen

Gegen Freitag Mittag trafen in Ratingen bei der Firma ABB Calor Emag Mittelspannung ein, unserer letzten Station der diesjährigen Exkursion. Nach einem ausgezeichneten Mittagessen in der dortigen Kantine erfuhren wir zuerst in einem Lehrfilm Details zum Firmenstandort und dem Aufbau und der Funktionsweise von Mittelspannungsschaltanlagen. Nach einem ausgedehnten Rundgang durch das Werk der ABB in Ratingen, auf dem wir die Montage der Mittelspannungsschaltanlagen und die Vakuumschalterfertigung besuchten, machten wir uns auf den Heimweg nach Aachen, wo wir gegen 18 Uhr erschöpft, aber mit vielen neuen Eindrücken versehen, eintrafen.

Organisatoren

Dipl.-Ing. Thomas Smolka
Smolka@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-90013

Dipl.-Ing. Torsten Wirz
Wirz@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94910