

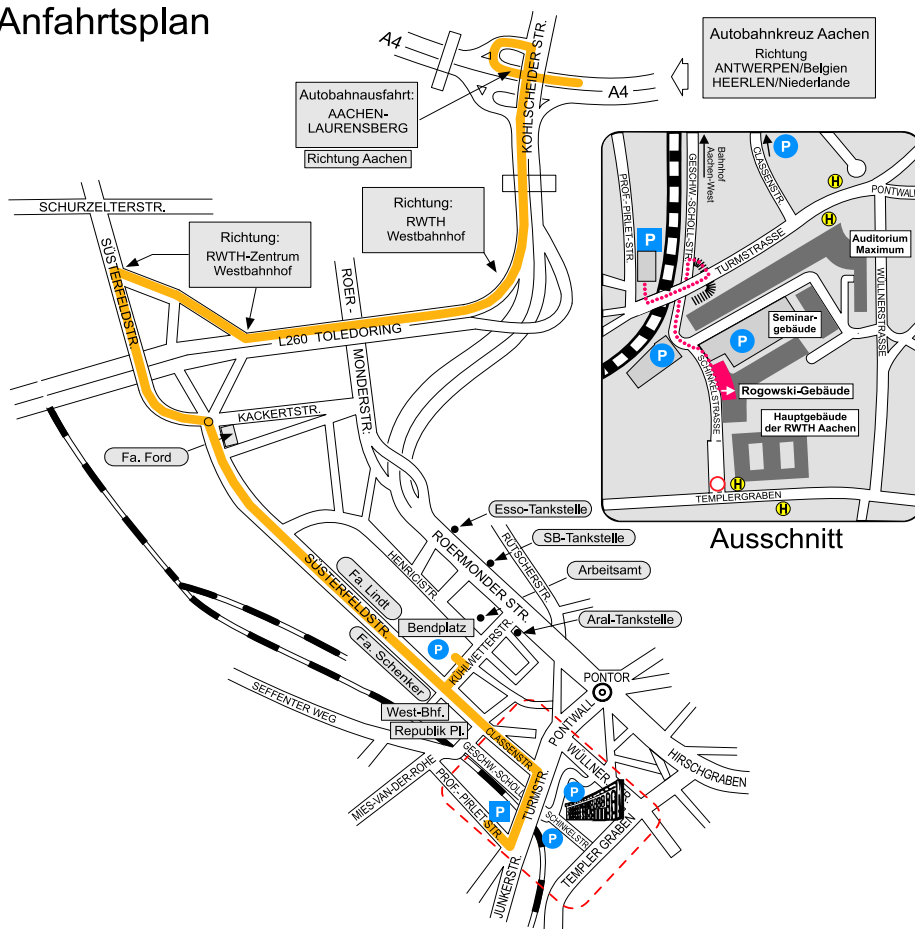


Jahresbericht 2005

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. Torsten Wirz
Redaktionsschluß: 16.02.2006

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Forschung am ifht

Berichte aus der laufenden Forschung

Forschungsgebiete	10
Einfluß von Elektrodenabbrandprodukten auf das Ausschalt- vermögen von SF ₆ Selbstblasleistungsschaltern	16
Untersuchungen zum Abschaltverhalten eines SF ₆ -Selbstblas- Schaltermodells sowie zum Abbrandverhalten von PTFE-Düsen	22
Investigation on the Switching Capability of the Gaseous Dielectric Air in High Voltage Self-Blast Circuit Breaker	26
Hybridschalter für DC Anwendungen	28
Hochfrequenzkonditionierung von Vakuumschaltkammern	32
Ultraschalldiagnostik zur Qualitätsbewertung polymerer Isoliersysteme	40
Untersuchungen zum Fremdschichtverhalten von nanostrukturierten superhydrophoben Isolierstoffoberflächen	48
Life-Cycle Bewertung zukünftiger Energieversorgungsnetze bei dezentraler Energiebereitstellung	52
Untersuchung der Kupferschienenverformung während eines dreipoligen Kurzschlusses	58
Untersuchung von Störlichtbogenenergieabsorbern	62

Externe Forschungsarbeiten

Asset-Management in Verteilnetzen - Einfluss der Komponenten- zuverlässigkeit und Bewertung der Kosten	66
---	----

Diplom-, Master- und Studienarbeiten - 2005 abgeschlossen	70
Veröffentlichungen	73

Lehre am ifht

Vorlesungen und Praktika	78
--------------------------------	----

Das Institut

Chronik	86
Seminar Hoch- und Mittelspannungsschaltgeräte und -anlagen	92
Aktivitäten 2005	94
Exkursionen	97
Mitarbeiter 2005	102

Contents

Preface

Research at ifht

Scientific Reports

Fields of Research	13
Influence of the Electrode Vapour Contamination on the Interrupting Limit of SF ₆ Self-Blast Circuit Breakers	19
Investigations on the Interrupting Behaviour of a SF ₆ -Self-Blast Circuit Breaker Model and on the Ablation Properties of PTFE-Nozzles	24
Investigation on the Switching Capability of the Gaseous Dielectric Air in High Voltage Circuit Breakers	26
Hybrid Switching for DC Applications	30
High-Frequency-Conditioning of Vacuum Circuit Breakers	34
Quality Assessment of Electrical Insulation Systems Using Ultrasound	44
Investigations on the Pollution Performance of Nanostructured Superhydrophobic Insulating Surfaces	50
Life-Cycle Analysis of Future Power Grids with Distributed Generation	55
Investigation of Copper Busbar Deformation during Three-Phase Short-Circuit .	60
Investigations on Fault Arc Energy Absorbers	64

External Scientific Reports

Asset Management in Distribution Systems - Impact of Component Reliability and Cost Evaluation	68
---	----

Diploma- and Project Theses 2005	70
Publications	73

Teaching at ifht

Lectures and Laboratories	78
---------------------------------	----

The Institute

Chronicle	86
Technical Seminar on Medium and High Voltage Equipment and Substations	92
Activities 2005	94
Technical Excursions	97
Staff 2005	102

Sehr geehrte Freunde des Instituts für Hochspannungstechnik,

ich freue mich, Ihnen mit dem Jahresbericht 2005 wiederum über Arbeiten und Aktivitäten unseres Instituts sowie über aktuelle Entwicklungen berichten zu können.

Das Interesse an der Energietechnik im Allgemeinen und auch an den Arbeiten der Hochspannungstechnik im Speziellen hat weiter zugenommen. Mit aktuell 24 laufenden Studien-, Diplom- und Masterarbeiten können wir eine sehr rege Nachfrage durch die Studierenden dokumentieren, die sich hoffentlich auf diesem Niveau stabilisieren wird. Dennoch können wir bei weitem nicht die Nachfrage der Industrie an hoch qualifizierten Absolventen, die sich im letzten Jahr nochmals stark erhöht hat bzw. noch nicht einmal den eigenen Bedarf der energietechnischen Institute unserer Fakultät abdecken. Dieses ist insbesondere bemerkenswert, da in 2005 über 34 % der fast 200 Absolventen der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der RWTH Aachen an einem der vier energietechnischen Institute ihre Master- bzw. Diplomarbeit schrieben. Leider ist diese Entwicklung, und dies zeigen die Diskussionen mit vielen Fachkollegen, nicht auf alle Hochschulstandorte übertragbar.

Dabei unterliegt die Energietechnik weltweit einem signifikanten und in dieser Form niemals gekannten Wandlungsprozess. Diese Wandlung bezieht sich dabei im Wesentlichen auf die Aspekte der

- *Erschließung und dauerhaften Sicherung von Energieträgern*
- *Erneuerung und Transformation bestehender Infrastruktur*
- *Wandlung von Prozessabläufen durch Verknüpfung von*

Kommunikations- und Energietechnik

- *Sicherung von Wissen, Erfahrung und verfügbaren Ressourcen unter besonderer Berücksichtigung der demographischen Entwicklungen.*

Interessante und komplexe Fragestellungen, internationale Kooperationen und weltweit attraktive Märkte und die, zumindest mittelfristig absehbaren, hervorragenden Berufschancen stellen Rahmenbedingungen für Ingenieure dar, die in unserer Branche seit vielen Jahren nicht mehr in dieser Form zu beobachten waren.

Natürlich werden sich auch die Hochschulen diesem Wandel nicht verschließen können. Die vor uns liegenden Herausforderungen erwarten interdisziplinäre Kooperationen und international ausgerichtete Strukturen, die nicht an allen Hochschulstandorten in erforderlichem Maße vorhanden sein können. Die in Deutschland im vergangenen Jahrzehnt begonnenen Konzentrationsprozesse im Bereich der Energietechnik müssen konsequent fortgesetzt werden - auch wenn damit möglicherweise Forschungsstandorte entfallen. Die in den letzten 18 Monaten zu beobachtende „Rückbesinnung“ einzelner Hochschulen auf die derzeit als „in“ geltende Thematik Energie, speziell der regenerativen Energien, durch Berufung einzelner Professuren ist halbherzig und schwächt, durch die Gefahr einer weiteren „Gießkannenförderung“ den Standort Deutschland mehr als dass er ihn stärkt. Vielmehr sind Forschungsschwerpunkte, sog. Cluster, auf wenige Standorte mit hoher kritischer Masse zu konzentrieren, um weiterhin den sehr hohen, weltweit akzeptierten Standard zu garantieren.

In diesem Zusammenhang steht die

Intention der RWTH Aachen, neben anderen Forschungsthemen, die Energietechnik zu einem international beachteten Clusterthema weiter auszubauen. Mit der Angliederung der „Forschungsgemeinschaft für elektrische Anlagen und Stromwirtschaft FGH e.V.“ im Jahr 2003 und - ganz aktuell - der gemeinsamen Gründung des „E.ON Forschungsinstituts für Energie“ durch E.ON AG und RWTH Aachen sind hiermit wesentliche Voraussetzungen für diese strategische Ausrichtung geschaffen worden. Es ist vorgesehen, diesen Weg durch einen Ausbau der Ressourcen und weitere strategische Kooperationen konsequent zu beschreiten. Es ist abzusehen, dass es zwischen der Industrie und den Forschungseinrichtungen eine weiter enger werdende Verzahnung hinsichtlich Forschung, Entwicklung und Wissenstransfer geben wird. Wir hoffen, uns für diese Aufgaben entsprechend positioniert zu haben, um auch langfristig den Erwartungen gerecht zu werden.

Im Oktober 2006 findet im Aachener Eurogress der VDE Kongress 2006 statt. Auch wir sind an der Ausgestaltung beteiligt und freuen uns, drei interessante Fachtagungen der Energietechnischen Gesellschaft im VDE ankündigen zu können. Neben der „Vernetzung von Leit- und IT-Systemen“ und „Zukünftigen Erzeugungs- und Netzstrukturen“ bietet die Thematik der „Power Electronics“ höchst interessante Einblicke in die Anwendung moderner leistungselektronischer Systeme in hybriden Antrieben und in Energieversorgungssystemen. Erstmalig bei einem VDE Kongress wird es hiermit eine rein englischsprachige ETG-Fachtagung geben, mit dem Ziel, die internationale Sichtbarkeit des Kongresses weiter zu erhöhen.

Wissenschaftlich waren wir auch im Jahr 2005 wieder erfolgreich. Eine Übersicht der Publikationen und Vorträgen auf nationalen wie internationalen Veranstaltungen können Sie, wie

gewohnt, dem Jahresbericht entnehmen. Herr Dr.-Ing. Carsten Lüders hat, als erster Neu-Einsteiger nach meiner Übernahme des Instituts für Hochspannungstechnik, seine Dissertation erfolgreich abgeschlossen; drei weitere erfolgreiche Promotionsprüfungen konnten seitdem gefeiert werden.

Die Zusammenarbeit mit der Forschungsgemeinschaft für elektrische Anlagen und Stromwirtschaft (FGH e.V.) gestaltet sich weiterhin sehr erfolgreich. Mehrere gemeinsame Projekte sind in der Abwicklung bzw. Projektentwicklung.

Im Jahr 2005 konnten wir einen weiteren Teil der Modernisierungs- und Renovierungsmaßnahmen abschließen. Unser zentral gelegener Hörsaal steht seit dem Sommersemester 2005 - mit modernster Technik ausgestattet - wieder zur Verfügung. Weitere Renovierungsmaßnahmen werden folgen, um eine kontinuierliche Modernisierung und einen weiteren Ausbau der Infrastruktur unseres Institutes zu gewährleisten.

Zurückblickend können wir mit der allgemeinen Entwicklung und den erzielten Resultaten sehr zufrieden sein. Dafür möchte ich allen Mitarbeitern, Freunden und Partnern, die uns durch ihr Vertrauen, ihre Arbeit und Anregungen ideell wie finanziell hervorragend unterstützt haben.

Basierend auf dem Vorhandenen und Erreichten gilt es heute mehr denn je, sich weiter auf die bevorstehenden Herausforderungen zu konzentrieren und systematisch an Lösungsvorschlägen und der weiteren Entwicklung zu arbeiten. Ich darf Sie herzlich auffordern, gemeinsam mit uns den begonnenen Weg weiter zu beschreiten.

Herzlichst



Aachen, im Februar 2006

Dear partners and friends!

We are pleased to inform you about our 2005 activities in research & development, teaching, working and living at our institute as well as to report about current trends.

The overall interest in energy engineering topics in general and specifically in our activities has continued to grow during 2005. At present, 24 master-, diploma- as well as pre-diploma projects are running - demonstrating a significant demand on high voltage engineering topics. We do hope that this demand will stabilize for the years to come on that high level. Nevertheless, right now we cannot match the industries demand on young highly qualified electrical engineers - not even our own demand of FGH e.V. (Research Association for Power System Equipments and Power Economics) and the four electric energy institutes which are Power Systems & Power Economics, Power Electronics & Drives, Power Conversion Technologies and High Voltage Technologies. This is considerably impressive since more than 34 % of nearly 200 engineers having received their Diploma degree at the Electrical Engineering and Information Technology Faculty of RWTH Aachen in 2005 passed their final examination (diploma thesis) at one of these four electric energy institutes. However, having discussed this strong increase of interested students with colleagues from other universities I have to report that this positive development is obviously not representative for all universities. At least it shows that electrical power engineering is perceived by our students as an important, interesting and sustainable topic.

This interest is surely influenced by the global changes the energy business is currently facing. Our business has to cope with challenges on

- *A long term reliable and sustainable exploration of energy carriers*
- *Re-investments in and transformation of existing infrastructure*
- *Changing of processes due to a merger of communication and energy technologies*
- *Keeping know-how, expertise and available resources especially considering the demographic developments*

These challenges together with requirements of working and living in an international community with intensive co-operations in a global market set excellent conditions for a successful career of electrical engineers having not been better for many years.

Of course, these prerequisites will continue to force the universities to adapt themselves in an appropriate manner. Considering global opportunities but also competition on know-how, resources and expertise we need to build up co-operations, strategic alliances and structures which cannot to the same extend become implemented at all locations in Germany and/or worldwide. Therefore, the concentration processes of energy related research in Germany resp. Europe has to be continued consequently - even considering that some locations with energy research today will reduce their research activities. In the last 12..18 months we have noticed some re-initiations of energy research at different locations/universities by announcing new professorships especially in the field of renewable energies. This „strategy“ is more than questionable - it will not further on strengthen the energy business in Germany, maybe even weaken the existing infrastructure since governmental/public funding will be spread

on even more locations. Here, I do not strive towards a further reduction of teaching of power engineering topics. However, in order to keep and continuously improve our worldwide accepted standards we need to strengthen research and development by concentrating these efforts in some research clusters with high critical mass and established infrastructure.

Based on these developments RWTH Aachen intends to strengthen the research topic „Energy and Process Technologies“ in order to build up an internationally recognized research cluster. Following the integration of the FGH e.V., Mannheim („Research Association of Power System Equipment and Power Economics“) in 2003 and - just recently by end of January 2006 - the signed agreement on a co-founding of an internationally operating research centre called „E.ON Research Institute on Energy“ by E.ON AG and RWTH Aachen, we have set a solid basis to build on. It is planned to further on strengthen our position by increasing our resources and by establishing additional strategic alliances. Considering the tendency towards much closer co-operations on research, development and technology/know-how transfer between industry and research organizations in the future we do believe to have set the right strategic direction and approach and we do hope to be able to even more intensify our relationship with our partners and friends. However, I would be glad to get your opinion on these developments and targets.

From a scientific point of view our research activities in 2005 have been well received by the community. A brief overview on our work, publications as well as presentations at national and international conferences is given in this report. In December 2005 Dr.-Ing. Carsten Lüders has successfully passed his Doktor-examination on modelling of electric arcs in SF6 cir-

cuit breakers. Since then another three dissertations have been successfully examined showing now the first results of a strong increase in our research activities after my start at Aachen University in 2001. Additionally, our cooperation with the „Forschungsgemeinschaft für elektrische Anlagen und Stromwirtschaft“ (FGH e.V.) shows significant progress offering synergies for both parties while executing joint projects.

In 2005 we continued to improve our existing infrastructure. The centrally located lecture hall has been completely renovated offering now state of the art presentation technologies in an air conditioned environment. Further renovations are to follow striving towards a continuous improvement of all infrastructures at our Rogowski-building.

Looking back to 2005 we are quite satisfied with the overall results and the developments and trends. For all achievements I would like to deeply express my thanks to all my employees, our friends and partners for their extraordinary contributions, comments as well as their ideally and financial support. Without your input we would not have reached what we have in our hands today. Thanks a lot!

Nevertheless, we need to continuously increase our engagement, speed and efforts, required to cope with the interesting but also demanding challenges in this fast changing environment. I would be glad to continue cooperating with you all and I do hope that our partnership will add something beneficial for all of us towards a safe and sustainable future.

With kind regards - yours sincerely



Aachen, February 2005

Berichte aus der Forschung

Dissertationen

Diplom-, Master- und Studienarbeiten

Veröffentlichungen



9



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 Hochfrequenz-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 (bis 30.04.)
M. Sc. Piotr Margiel * Dipl.-Ing. Michael Schwinne * M. Sc. Thanapong Suwanasri * Dipl.-Ing. Ming Chark Tang

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 von Isolierschäumen. Aufgrund des weitreichenden Spektrums von einstellbaren Fertigungsparametern ist es bei diesen Materialien möglich, unterschiedlichste Materialeigenschaften wie niedrige spezifische Dichte, hohe Kompressibilität u.v.m. zu realisieren, ohne dass dem 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 Zustandsbe-

wertung polymerer Isoliersysteme mittels Ultraschall im Mittelpunkt. Neben der Detektion von eingeschlossenen Fehlstellen in verschiedenen – auch schallweichen – Materialien wie Elastomeren (z.B. Muffenkörper) können zudem Grenzflächen- und Vernetzungsprobleme nachgewiesen werden. Darauf aufbauend erfolgt zur Zeit eine Ausdehnung dieser Messtechnik auf ein breites Spektrum von Materialien und industriell hergestellten Betriebsmitteln wie beispielsweise Verbundisolatoren und Ableitern. Zudem werden Mess- und Auswertungsalgorithmen (weiter-)entwickelt, um eine detaillierte Analyse der Prüfobjekte zu ermöglichen.

Gruppenmitglieder:

Dr.-Ing. Christian Cornelissen * Dipl.-Ing. Alexander Tröger * Dr. Hideki Ueno (bis 31.07.) * Dipl.-Ing. Philipp Walter * Dipl.-Ing. Torsten Wirz * M. Sc. Junliang Wu

Forschungsgruppe “Nachhaltige Energieversorgung”

Gruppenleiter: Dipl.-Ing. Thomas Smolka

Kurzbeschreibung:

Für die Entwicklung der Energieversorgung in Deutschland wird postuliert, dass sich die Struktur der Energieversorgungsnetzen durch die vermehrte Leistungseinspeisung aus (dezentralen) regenerativen Energiewandlungseinheiten (DEA) verändern wird. Einen entscheidenden Beitrag können dazu in Zukunft dezentrale BlockHeizKraftWerke (BHKW) durch eine gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung leisten. 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 von selbst entwickelten Bewertungsmethoden und Systemmodellen (inkl. einer Ökobilanzierung nach ISO Norm 14040 ff.) werden Energieversorgungsnetze sowie deren Betriebsmittel und Anlagen unter technisch-ökologisch-wirtschaftlichen Rahmenbedingungen untersucht und ihre Ökoeffizienz optimiert.

Gruppenmitglieder:

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

Forschungsgruppe “Anlagentechnik”

Gruppenleiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Armin Schnettler

Kurzbeschreibung:

Asset Management, dessen wesentliches Ziel die optimale Ausnutzung von Betriebsmitteln bei gleichzeitig optimierten Instandhaltungszyklen darstellt, ist eines der Themen in diesem Forschungsbereich: Zur Optimierung des Betriebes von elektrischen Energieversorgungsnetzen ist es notwendig, die Systemzustände sowie den technischen Zustand von Netzbetriebsmitteln zu bewerten, damit eine gesamtkostenoptimale Instandhaltungs- und Erneuerungsstrategie realisiert werden kann. Dabei ist eine zweckmäßige Bewertung der Netzkomponenten und -anlagen bezüglich ihres technischen Zustandes und ihres ursprünglich prognostizierten Instandhaltungsaufwands entscheidend. Aus vorhandenen Betriebsmittel- und Systeminformationen (lokal und fernauslesbar) sollen Modelle für geplante Instandhaltungsmaßnahmen bzw. Ersatzinvestitionen abgeleitet werden. Ein weiteres Thema des Forschungsbereichs ist die Untersuchung von Stromkräften hinsichtlich der Dimensionierung von Mittelspannungsschaltanlagen.

Gruppenmitglieder:

M. Sc. Kittipong Anantavanich * Dipl.-Ing. Stefan Federlein * M. Sc. Pinit Jitjing * Dipl.-Ing. Uwe Zickler

12

Lehrgebiet “Gasentladungstechnik”

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

Kurzbeschreibung:

Aktuelles Kernthema ist die Druckentwicklung in Schaltanlagen auf Grund von Störlichtbögen. Dabei werden insbesondere die Möglichkeiten untersucht, durch den Einsatz von Druckentlastungsmaßnahmen (Öffnungen und Kanäle, Störlichtbogenabsorber) die Auswirkungen dieser Fehler zu reduzieren.

Gruppenmitglieder:

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 high frequency 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. Due to the link between simulations and experiments, simulations can be verified but also experiments can be designed by using the simulations.

Members of the group:

M. Sc. Danial * Dipl.-Ing. Robert Dommerque * Dipl.-Ing. Bernhard Heil
Dipl.-Ing. Christoph Kahlen * Dipl.-Ing. Carsten Lüders (until 04/30/05)
M. Sc. Piotr Margiel * Dipl.-Ing. Michael Schwinne * M. Sc. Thanapong Suwanasri * Dipl.-Ing. Ming Chark Tang

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 insulating foams. Due to their wide spectrum of adjustable manufacturing parameters, it is possible to realize different material's characteristics like for example low specific density or high compressibility while keeping respectable electrical properties. 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 – even soft elastomeric – insulating systems like those of cable joints. It is possible to detect and localise small impurities. Furthermore, boundary layers between two different materials and inhomogeneous cross-linking are detectable. Based on this, the application of ultrasonic diagnosis for different insulation systems like those of composite insulators and arresters is investigated. Furthermore, software analysis tools are developed which can provide a more detailed assessment.

Members of the group:

Dr.-Ing. Christian Cornelissen * Dipl.-Ing. Alexander Tröger * Dr. Hideki Ueno (until 07/31/05) * Dipl.-Ing. Philipp Walter * Dipl.-Ing. Torsten Wirz * M. Sc. Junliang Wu

Research Group “Sustainable Power Systems”

Manager: Dipl.-Ing. Thomas Smolka

Short description of the research topics:

It is expected, that future power grids will be modified by integrating more decentralized, renewable power supply units. However, it is not yet fully understood in which areas and under which preconditions, such as power flow 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. by providing additional reserve power for wind parks. With new assessment methods and system models for evaluating power grids (including Life Cycle Assessment according to ISO 14040ff), future power grids and their components are analysed under technical-economical and ecological conditions with the aim to increase the eco-efficiency of these systems.

Members of the group:

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

Research Group “Systems Engineering”

Manager: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Armin Schnettler

Short description of the research topics:

Asset Management is one of the main topics in this research group. Its basic aim is the optimum utilisation of assets combined with a good compromise in terms of maintenance strategies. For that kind of improvement in servicing electrical power systems, an estimation of the system and technical status of system

equipment is required. Using new strategies for maintenance and replacement it shall be possible to achieve a minimum value for the total costs. Therefore, it is decisive to apply a practical assessment for power system components and assets related to their technical status and their expected operating costs. Models for systematic maintenance and replacement strategies shall be deduced using all available system information (e.g. local and remote monitoring). A further topic in this group 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 * Dipl.-Ing. Stefan Federlein * M. Sc. Pinit Jitjing * Dipl.-Ing. Uwe Zickler

Field of Instruction and Research

“Gas Discharge Engineering”

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

Short description of the research topics:

Main 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. Michael Schmale

Einfluß von Elektrodenabbrandprodukten auf das Ausschaltvermögen von SF₆ Selbstblasleistungsschaltern

Das Ausschaltvermögen von SF₆ Selbstblasleistungsschaltern hängt nicht nur vom Beblasungsdruck, der Gasströmung und dem elektrischen Netzwerk, sondern auch von der Zusammensetzung des Löschgases ab. Um eine quantitative Aussage über den Einfluß der Löschgasverunreinigung durch Elektrodenabbrand auf die Ausschaltgrenze treffen zu können, werden sowohl theoretische als auch experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Das Ausschaltvermögen wird experimentell bestimmt, während die Wolfram/Kupfer-Konzentration des Löschgases mit Hilfe von CFD-Simulationen ermittelt wird.

Einleitung

Während des Ausschaltvorgangs werden sowohl das Isolierstoffdüsen- als auch das Elektrodenmaterial abgebrannt. Der Einfluß des Düsenabbrands auf das Ausschaltverhalten wurde in mehreren Arbeiten untersucht [1][2]. Die Auswirkungen von Elektrodenabbrandprodukten auf die Materialeigenschaften von Hochtemperaturgasplasmen ist Gegenstand mehrerer Veröffentlichungen [3][4]. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Verunreinigung des Plasmas zu einer Abkühlung des Lichtbogens und zu einem Anstieg des Lichtbogendurchmessers führen [5]. Während des Ausschaltvorgangs können Elektrodenabbrandprodukte in die Druckkammer gelangen und das Schaltvermögen negativ beeinflussen. Mit Hilfe von CFD-Simulationen kann die Verunreinigung des Löschgases mit Wolfram/Kupfer orts- und zeitaufgelöst bestimmt werden. Die Ausschaltleistungen der entsprechenden Anordnungen werden in experimentellen Untersuchungen ermittelt. Durch die Kombination der Ergebnisse aus Simulation und Experiment kann der negative Einfluß der Löschgasverunreinigung auf das Ausschaltvermögen quantitativ angegeben werden.

Simulation

Die Simulation basiert auf dem Zweizonen-Modell für abbrandbestimmte elektrische Lichtbögen in zylinderförmigen Isolierstoffdüsen, welches um den Elektrodenabbrand erweitert wurde. Der Elektrodenabbrand wird über ein integrales Modell, basierend auf der Leistungsbilanz an den Elektroden, berücksichtigt [6]. Die Simulation liefert die örtliche Verteilung von Wolfram/Kupfer- und PTFE-Verunreinigung im gesamten Modellschaltervolumen.

Experimenteller Aufbau

Die Untersuchungen werden mit einem synthetischen Prüfkreis nach Weil-Dobke (Fig. 1, siehe Jahresbericht 2004) durchgeführt.

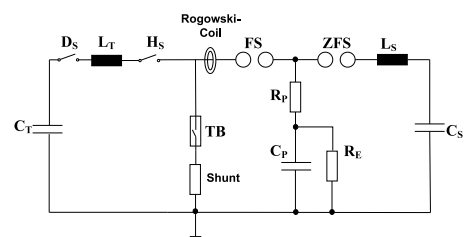


Abb. 1: synth. Prüfkreis nach Weil-Dobke

Um das Ausschaltverhalten zu bestimmen, ist die Messung des Lichtbogenwiderstands im Stromnulldurchgang erforderlich. Der Strom wird mit Hilfe einer Rogowski-Spule mit einer Anstiegszeit von 25 ns gemessen. Die Spannungsmessung erfolgt mit einem 1000:1 Teiler mit einer Anstiegszeit von 4 ns . Eine optische Übertragungsstrecke mit einer Bandbreite von 100 MSample/s wird zur galvanischen Entkopplung eingesetzt. Die in Abb. 2 dargestellte Eindüsen-Anordnung wird in den Experimenten eingesetzt, um eine maximale Wolfram/Kupfer-Konzentration in der Druckkammer zu erzielen. Der Lichtbogen wird in einer PTFE-Düse geführt. Aufgrund der Gasströmung kann das an oberen Elektrode abbrennende Material nicht zur Verunreinigung der Druckkammer beitragen. Durch den clogging-Effekt der PTFE-Düse gelangt nahezu das gesamte an der unteren Elektrode abbrennende Material in die Druckkammer. Der Experimente werde sowohl mit Graphit als auch mit Wolfram/Kupfer-Elektroden durchgeführt. Der Maximalwert des Stroms ist auf $11,5\text{ kA}$ begrenzt.

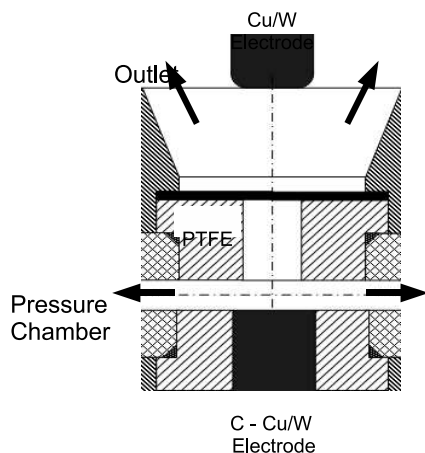


Abb. 2: Aufbau des Modellschalters; untere Elektrode aus Graphit oder W/Cu

Ergebnisse

In Abb. 3 ist ein Beispiel für die berechnete Wolfram/Kupfer-Konzentration dargestellt. Die Strömungsumkehr setzt etwa bei $t = 7\text{ ms}$ ein. Zum Zeitpunkt des Stromnulldurchgangs ist das Gas in der Löschkammer zu $0,88\%$ mit Elektrodenabbrand verunreinigt. Beim Einsatz einer Graphit-Elektrode tritt diese Verunreinigung nicht auf.

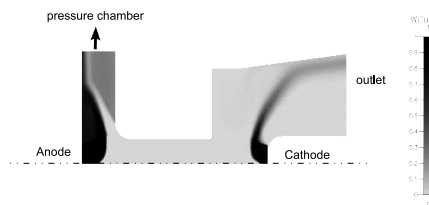


Abb. 3: Cu/W Massenanteil bei $t = 3\text{ ms}$

Es ist bekannt, dass ein linearer Zusammenhang zwischen dem Lichtbogenwiderstand zum Zeitpunkt des Stromnulldurchgangs (CZ) und dem Widerstand kurz vor CZ existiert (siehe Jahresbericht 2004). Da der Lichtbogenwiderstand 200 ns vor CZ zuverlässiger bestimmt werden kann, wird dieser zur Bestimmung des Ausschaltvermögens herangezogen.

Der Zusammenhang zwischen dem Lichtbogenwiderstand R_{200} und der Stromsteilheit di/dt in CZ ist in Abb. 4 für die Graphit-Elektrode und in Abb. 5 für die Wolfram/Kupfer-Elektrode dargestellt. Für die Wolfram/Kupfer-Anordnung kann eine Stromsteilheit von $di/dt = 8,2\text{ A}/\mu\text{s}$ ermittelt werden für die der für eine thermische Ausschaltung erforderliche Widerstand von $R_{200} = 750\ \Omega$ erreicht wird. Ein ähnlicher Zusammenhang mit einer positiven Verschiebung von di/dt um etwa $1,6\text{ A}/\mu\text{s}$ ergibt sich für die Graphit-Anordnung. Da die anderen Einflußfaktoren auf das Ausschaltver-

mögen konstant gehalten wurden, kann dieser Effekt auf die Wolfram/Kupfer-Verunreinigung von 0.88% des Löschgases zurückgeführt werden. Eine Verunreinigung des Löschgases mit Metaldampf reduziert daher das Ausschaltvermögen.

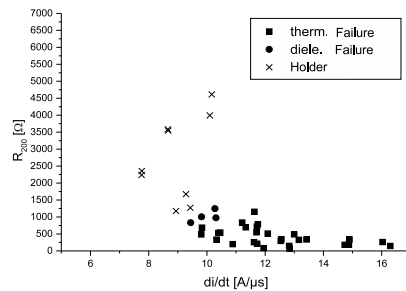


Abb. 4: Zusammenhang zwischen R_{200} und der Stromsteilheit für Graphit-Elektrode

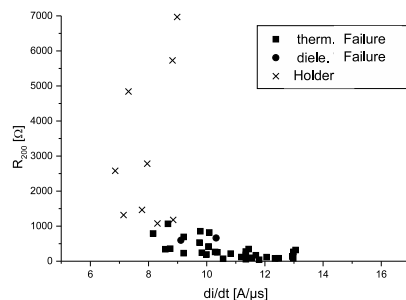


Abb. 5: Zusammenhang zwischen R_{200} und der Stromsteilheit für Wolfram/Kupfer-Elektrode

References

- [1] C.B. Ruchti, L. Niemeyer, *Ab-lation controlled arcs*, IEEE Trans. Plasma Sci. PS-14(4), 423, 1986

- [2] M. Kriegel, *Einfluss des Dü-senmaterials auf das Aus-schaltverhalten von SF6-Selbstblasschaltern*, Dissertation RWTH Aachen, 1999
- [3] P. Chévrier, C. Fiévet, S.S. Cio-banu, C. Fleurier and P. Scarpa, *Study of the arc-electrode inter-action in a SF6 self-blast circuit breaker*, Appl. Phys.32, No. 9, P.1494-1502, 1999
- [4] K.C. Paul, T. Takashima, *Cop-per Vapor Effect on RF Induc-tively Coupled SF6 Plasmas*, IE-EE Trans. On Plasma Sci., V. 26 (3), P.:1000 - 1009, 1998
- [5] J.L. Zhang, J.D. Yan, M.T.C. Fang, *Electrode Evaporation and Its Effects on Thermal Arc Behavior*, IEEE Trans. On Plas-ma Sci., V. 32 (3),P.:1352 - 1361, 2004
- [6] J. Tepper, M. Seeger, et. al., *Pred-iction of the Erosion of Arcing Contacts in High-Voltage Cir-cuit Breakers*, XV Inter. Conf. on Gas Discharges and their Ap-pl., Toulouse, 2004

Contact

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

Dipl.-Ing. Michael Schwinne
schwinne@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94915

Influence of the Electrode Vapour Contamination on the Interrupting Limit of SF₆ Self-Blast-Circuit Breakers

A successful interruption in a SF₆ circuit breaker does not only depend on the blow gas pressure, blow-gas flow, and the surrounding network, but also on the quenching gas composition. Both theoretical and experimental investigations of electrode vapour effects are necessary due to complement information. The interrupting limit is analysed by experimental investigations, whereas the tungsten-copper concentration is provided by CFD-simulations.

Introduction

During the interrupting process in a SF₆ self-blast circuit breaker both nozzle material as well as electrode material is ablated. The effect of the nozzle ablation on the interrupting behaviour has been the subject of several studies [1][2]. The influence of ablated electrode material on the properties of high temperature plasma is discussed in many papers, e.g. [3][4]. Results show that vapourization of the electrode material has a cooling effect at the arc centre and yields to an increased arc diameter [5]. However, the arc voltage is not sensitive to the presence of electrode vapour. During the interrupting process electrode vapour can also be distributed to the pressure chamber of a SF₆ self-blast circuit breaker and may thereby influence the interrupting limit in a negative way. Recently, simulations are needed to determine the contermination of the quenching gas with copper/tungsten from the electrode. Experiments are carried out to determine the interrupting limit of the same arrangement. Due to the combination of these results the negative effect of the contaminated quenching gas on the interrupting limit could be estimated.

Simulation

The simulation is based on the established 2-zone-arc-model for ablation controlled electric arcs which is extended by an electrode ablation model. The electrode erosion is considered by an integral ablation model [6]. The simulation provides the distribution of tungsten/copper and PTFE contamination in all parts of the model breaker.

Experimental Setup

The investigations are carried out by using a Weil-Dobke test setup (Fig. 1) described in the annual report 2004.

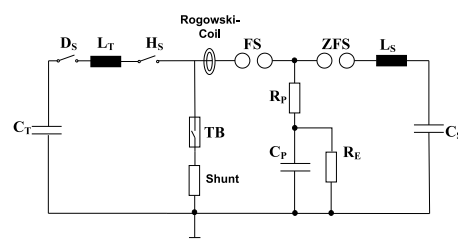


Fig. 1: Weil-Dobke test setup: $C_T L_T$: high current circuit, D_S : making switch, H_S : auxiliary switch, TB: test breaker, $C_S L_S$: high voltage circuit, ZFS, FS: spark gap, $R_p C_p R_E$: parallel circuit for the recovering voltage

To determine the interrupting behaviour of the test breaker, it is necessary to measure the arc resistance at current zero. Therefore, the current is

measured using a Rogowski coil with a rise time of 25 ns. Voltage measurement is carried out by using a 1000:1 probe with a rise time of 4 ns. An optical fibre transmitter with a bandwidth of 100 MSample/s is used to reduce the noise of the signals and for galvanic decoupling.

In order to get a maximum copper/tungsten concentration in the quenching gas, the experiments are carried out using a one nozzle arrangement as shown in Fig. 2. The arc between the electrodes is stabilized by a PTFE nozzle. Because of the gas flow no ablated material from the upper electrode can reach the pressure chamber. Due to the clogging effect of the PTFE nozzle, all of the ablated mass of the lower electrode causes a contamination of the pressure chamber. The experiments are performed with both graphite and copper/tungsten electrodes. The peak current is limited to 11,5 kA

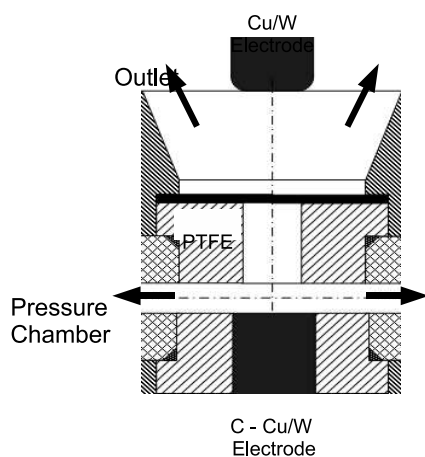


Fig. 2: Schematic of the test device. The lower electrode (anode) material consist of graphite (C) or copper/tungsten (20 weight-% copper, 80 weight-% tungsten)

Results

An example of the calculated copper/tungsten mass fraction for the arrangement is shown in Fig. 3. During the point of time at $t = 7 \text{ ms}$ the gas flow turned to a reversed direction and respectively the gas in the pressure chamber will be blown towards the arc. The ratio of contamination of this arrangement can be determined to 0,88% at current zero. This ratio by using a graphite electrode is zero due to the lack of metal ablation.

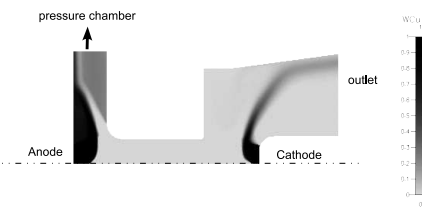


Fig. 3: Cu/W mass fraction at $t = 3 \text{ ms}$

It is known that a linear function between the resistance in current zero and the resistance a short time before CZ exists (see annual report 2004). As the measurement of the arc resistance 200 ns before current zero is more accurate it allows to predict the interrupting behaviour of the test breaker more precisely.

The relationship between the resistance R_{200} and the current steepness di/dt in current zero is shown in Fig. 4 for the arrangement with a graphite electrode and in Fig. 5 for the copper/tungsten arrangement. For the copper/tungsten arrangement a $di/dt = 8.2 \text{ A}/\mu\text{s}$ can be determined for a resistance $R_{200} = 750 \Omega$ which corresponds to the thermal interrupting limit. A similar diagram with a positive di/dt offset of about $1.6 \text{ A}/\mu\text{s}$ is determined for the graphite arrangement. Because other aspects on the interrupting limit are kept invariant, this observation can be at-

tributed to the copper/tungsten contamination of 0.88% of the quenching gas. Thus, the presence of metal vapour inside the quenching gas reduces the interrupting capability. This result is according to the expectations due to increased arc conductivity by copper/tungsten contamination.

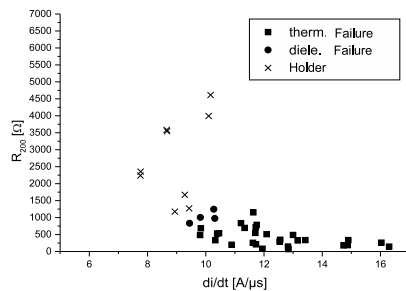


Fig. 4: Relationship of the arc-resistance R_{200} 200 ns before current zero and the current steepness at current zero for the graphite arrangement

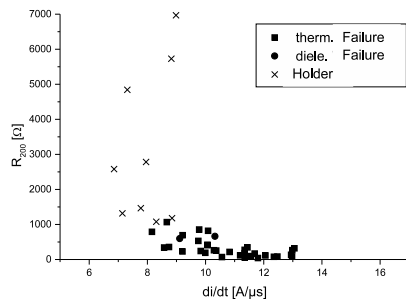


Fig. 5: Relationship of the arc-resistance R_{200} 200 ns before current zero and the current steepness at current zero for the copper/tungsten arrangement

References

- [1] C.B. Ruchti, L. Niemeyer, *Ab-lation controlled arcs*, IEEE

Trans. Plasma Sci. PS-14(4), 423, 1986

- [2] M. Kriegel, *Einfluss des Düsenmaterials auf das Ausschaltverhalten von SF₆-Selbstblusschaltern*, Dissertation RWTH Aachen, 1999

- [3] P. Chévrier, C. Fiévet, S.S. Ciobanu, C. Fleurier and P. Scarpa, *Study of the arc-electrode interaction in a SF₆ self-blast circuit breaker*, Appl. Phys.32, No. 9, P.1494-1502, 1999

- [4] K.C. Paul, T. Takashima, *Copper Vapor Effect on RF Inductively Coupled SF₆ Plasmas*, IEEE Trans. On Plasma Sci., V. 26 (3), P.:1000 - 1009, 1998

- [5] J.L. Zhang, J.D. Yan, M.T.C. Fang, *Electrode Evaporation and Its Effects on Thermal Arc Behavior*, IEEE Trans. On Plasma Sci., V. 32 (3),P.:1352 - 1361, 2004

- [6] J. Tepper, M. Seeger, et. al., *Prediction of the Erosion of Arcing Contacts in High-Voltage Circuit Breakers*, XV Inter. Conf. on Gas Discharges and their Appl., Toulouse, 2004

Contact

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

Dipl.-Ing. Michael Schwinne
schwinne@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94915

Untersuchungen zum Abschaltverhalten eines SF₆-Selbstblas-Schaltermodells sowie zum Abbrandverhalten von PTFE-Düsen

Die Bestimmung der Ausschaltleistung ist ein wichtiger Schritt in der Entwicklung von SF₆-Leistungsschaltern. Zur Charakterisierung des Ausschaltverhaltens sind präzise Messungen von Strom und Spannung in der unmittelbaren Umgebung des Stromnulldurchganges notwendig. Darüber hinaus ist es wichtig, die Abbrandeigenschaften des Düsenmaterials zu kennen, da der Düsenabbrand und der daraus resultierende Druckaufbau entscheidend für das Abschaltvermögen von SF₆-Leistungsschaltern sind.

Prüfkreis und Messtechnik

Der am IFHT eingesetzte Weil-Dobke Prüfkreis besteht aus zwei Schwingkreisen. Der Hochstromkreis wurde neu aufgebaut und ermöglicht nun einen maximalen Strom von $I_{Peak}=30$ kA bei einer Frequenz von 50 Hz, was einer maximalen Stromsteilheit von $30 \text{ A}/\mu\text{s}$ entspricht. Der Hochspannungskreis liefert Spannungssteilheiten bis $15 \text{ kV}/\mu\text{s}$. Der Hochstrom wird mit einem Manganin-Shunt, der Injektionsstrom mit einer Rogowski-Spule gemessen. Zur Spannungsmessung werden Tektronix-Tastköpfe mit einem Teilerverhältnis von 1:1000 verwendet. Während für die Messungen in der Hochstromphase Übertragungsstrecken mit einer Bandbreite von 150 kHz eine ausreichende zeitliche Auflösung bieten, wird für die Messungen in der Umgebung der Stromnulldurchgänge ein optisches Übertragungssystem mit einer Abtastrate von 100 MSamples/s eingesetzt.

Stromnullmessungen

Die zeitlich hoch aufgelösten Messungen erlauben eine genaue Untersuchung der Vorgänge während eines Stromnulldurchgangs, so dass nicht nur die pauschale Unterscheidung

zwischen Schaltversagen und erfolgreicher Stromunterbrechung getroffen werden kann. Vielmehr ist es möglich zwischen thermischem und dielektrischem Versagen zu unterscheiden. Das thermische Abschaltvermögen beschreibt die Fähigkeit des Schalters, den Strom im Nulldurchgang zu unterbrechen. Das dielektrische Abschaltvermögen hingegen beschreibt die Fähigkeit, der wiederkehrenden Spannung nach der Stromunterbrechung standzuhalten. Die Abbildungen 1 und 2 zeigen typische Verläufe von Strom, Spannung und Widerstand bei thermischem bzw. dielektrischem Versagen des Schaltermodells.

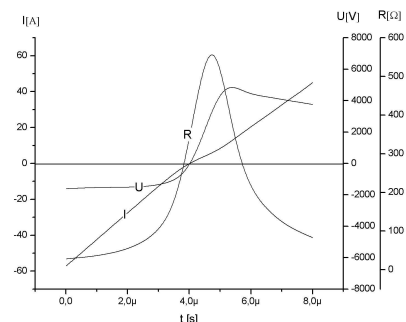


Abb. 1: Thermisches Versagen

Die Messungen ergeben, dass es zu thermischem Versagen kommt, wenn der Lichtbogenwiderstand im Stromnulldurchgang kleiner als 1000Ω ist.

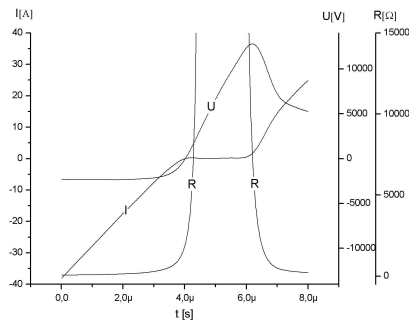


Abb. 2: Dielektrisches Versagen

In diesem Fall ändert sich die Stromsteilheit im Nulldurchgang nicht wesentlich und die Spannung über den Elektroden ist kleiner als 8 kV. Bei einem dielektrischen Versagen hingegen wird der Strom zunächst unterbrochen und bleibt für 2 μ s bei Null bevor es zur Wiederezündung kommt. Weiterhin kann ein linearer Zusammenhang zwischen dem Lichtbogenwiderstand im Stromnulldurchgang und 200 ns vor dem Nulldurchgang festgestellt werden (vgl. Abb. 3).

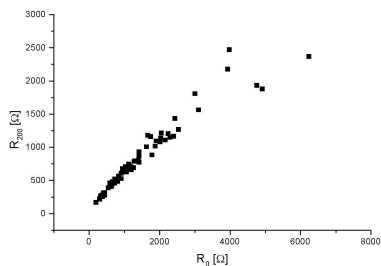


Abb. 3: Lichtbogenwiderstand 200 ns vor Stromnull als Funktion des Widerstandes in Stromnull

Abbrand von PTFE-Düsen

Um die axiale Verteilung des Abbrandes von zylinderförmigen Isolierstoffdüsen zu bestimmen, werden Prüflinge, die aus sieben Scheiben zusammengesetzt sind, verwendet. Mit den Prüflingen werden zehn Schalthand-

lungen durchgeführt, wobei jeweils eine Energie von 80-100 kJ im Lichtbogen umgesetzt wird. Nach jeder Schalthandlung werden die Scheiben gewogen und vermessen, um Massenverlust und Radiusaufweitung zu bestimmen. Abbildung 4 zeigt den auf die mittlere Scheibe (Nr. 4) normierten Massenabbrand nach zehn Schalthandlungen. An den Enden (Nr. 2 und 6) der Düse ist der Massenabbrand etwa 10% geringer als im Zentrum, wo mehr Strahlung auf die Oberfläche trifft.

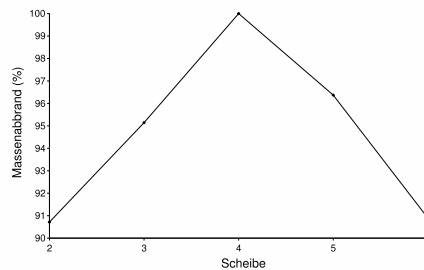


Abb. 4: Normierter Massenabbrand

Quellen

- [1] U. Habedank, H. Knobloch, *Zero-crossing measurements as a tool in the development of high-voltage circuit breakers*, IEE Proc. Sci. Meas. Technol., V. 148, No. 6, 2001
- [2] A. Steffens, C. M. Franck, M. Seeger, *Basic investigations on resistance at current zero of SF₆ self-blast circuit breakers*, XV. Int. Conf. On Gas Discharge, Toulouse, 2004

Kontakt

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

Investigations on the interrupting behaviour of a SF₆-selfblast circuit breaker model and on the ablation properties of PTFE-nozzles

The determination of the interrupting limit is an important step in the development process of SF₆ circuit breakers. To characterise the interrupting behaviour, precise measurements of current and voltage around current zero are required. Furthermore it is essential to know the ablation properties of the nozzle material because the pressure buildup resulting from the nozzle ablation has a strong influence on a breakers interrupting capability.

Test setup and measurement technology

The Weil-Dobke test setup is composed of two resonant circuits. The upgraded high current circuit provides a maximum current of $I_{Peak}=30$ kA and a maximum current steepness of 30 A/ μ s. The high voltage circuit supplies a maximum voltage steepness of 15 kV/ μ s. The current through the breaker is measured with a manganin shunt resistance. A Rogowski coil is used to measure the injected current and Tektronix voltage probes with a division ratio of 1:1000 are used to measure the arc voltage. For measurements during the high current phase the time resolution provided by optical transmission systems with a bandwidth of 150 kHz is sufficiently high. But in order to analyse current and voltage around current zero an optical transmission system with a sampling rate of 100 MSamples/s is applied.

Current zero measurements

Current zero measurements with a high time resolution make it possible to gain information going beyond the global distinction between failure and successful interruption. It is possible to distinguish between thermal and dielectric failures. While the ther-

mal interrupting capability describes the breakers ability to interrupt the current at current zero, the dielectric one characterises the breakers capability to resist the transient recovery voltage across its electrodes after the interruption of the current. Figures 1 and 2 contain typical examples of current, voltage and arc resistance for thermal and dielectric failures.

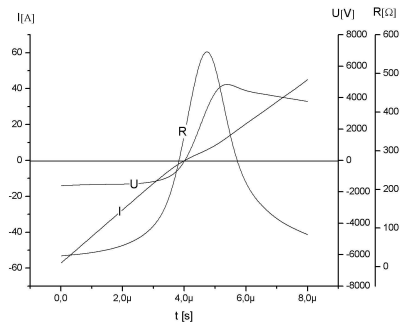


Fig. 1: Thermal failure

Measurements show that thermal failures occur when the arc resistance at current zero is lower than 1000 Ω . In this case the steepness of the current does not change significantly and the maximal voltage across the electrodes is lower than 8 kV.

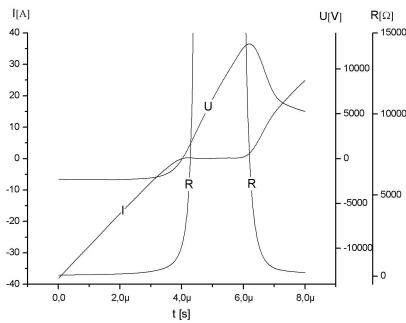


Fig. 2: Dielectric failure

In case of a dielectric failure the current is initially interrupted and remains zero for about $2 \mu\text{s}$ before the reignition occurs. Another result of the current zero measurements is the linear correlation between the arc resistance at current zero and the resistance 200 ns before current zero (Figure 3).

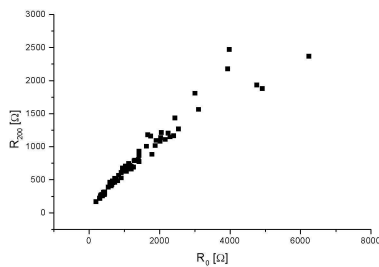


Fig. 3: Arc resistance 200 ns before current zero as a function of the arc resistance at current zero

Investigations on the ablation properties of PTFE nozzles

In order to determine the axial distribution of mass ablation within cylindrically shaped insulating nozzles, test samples consisting of seven slices are applied. A series of ten consecutive switching operations is carried out with each test device. The energy dissipated in the arc amounts to 80-100 kJ per switching operation. After each

switching operation the weight of the slices and the nozzle radius is measured in order to determine the mass loss and the nozzle widening. Figure 4 shows the normalised mass loss after ten switching operations. The mass loss of the outer slices (no. 2 and no. 6) is about 10% lower than the mass loss of the slice located in the centre of the nozzle (no.4) where more radiation hits the surface.

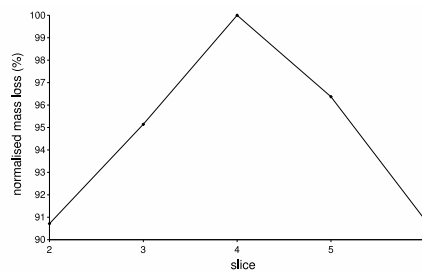


Fig. 4: Normalised mass loss

References

- [1] U. Habedank, H. Knobloch, *Zero-crossing measurements as a tool in the development of high-voltage circuit breakers*, IEE Proc. Sci. Meas. Technol., V. 148, No. 6, 2001
- [2] A. Steffens, C. M. Franck, M. Seeger, *Basic investigations on resistance at current zero of SF₆ self-blast circuit breakers*, XV. Int. Conf. On Gas Discharge, Toulouse, 2004

Contact

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

Investigation on the switching capability of the gaseous dielectric air in high voltage circuit breakers

Air has been suggested as an environmentally uncritical arc quenching medium for gas insulated electrical power equipment. A thorough evaluation of such a function requires the knowledge of the switching performances. This report presents a concept to assess the maximum limit of switching capability of air in high voltage self-blast circuit breaker.

Introduction

Gaseous insulations must be environmentally acceptable, now and in the future. Therefore, the best response to the concerns over the possible impact of SF₆ on global warming is to prevent the release of SF₆ into the environment. Clearly the most effective way to do this is not to use SF₆ at all. A systematic approach to searching and evaluating gaseous SF₆ substitutes for insulation and switching applications in electrical power equipment has been done by Niemeyer [1]. The breaking capacity of a circuit breaker depends primarily on the type of gas and its pressure, as well as on the pressure distribution. Although a circuit breaker's entire breaking operation lasts around several ms from initial contact stroke to final contact position, the actual success or failure of the quenching operation is decided in a very short space of time, from approximately 5 μs before current zero to approximately 5 μs after it. The observation and analysis of the processes, which take place during this actual period, provide crucial information on the arc quenching process and must therefore be performed with the utmost thoroughness and precision.

Characteristic Parameters

1. **Arc resistance at current zero.** One value which describes the circuit breaker's thermal quenching capacity is the arc resistance R_0 at current zero. The value of R_0 can be calculated if arc voltage and current are measured.
2. **Rate of change of current at current zero.** A further indication of the quality of the breaking operation is provided by the ratio of the virtually constant rate of change of current at an interval of more than 5 μs before current zero, $(di/dt)_0$, to its value at current zero, in other words the quotient $(di/dt)_0/(di/dt)_{(i=0)}$. The higher this value the better the circuit breaker's arc quenching capability will be.
3. **Arc voltage characteristic.** Information on the breaking process over a longer time scale can be obtained from the arc voltage characteristics. During the high current period, the arc voltage remains at values of around 1 kV for a relatively long period. Only during the last few 100 μs before current zero the voltage increases to values several kV and arc blowing starts. The

arc-quenching peak is higher for successful interruption than for failures. This is expressed in higher resistance values. If sufficiently high voltage values are not achieved, the circuit breaker will fail.

4. **Maximum TRV in the event of reignition.** Two different types of failures have been seen to occur with short-line fault: 1) thermal failure, the current crosses zero with virtually no effect on the rate of change of current, the di/dt curve shows only a minor variation. The voltage does not reach values of more than 10 kV. 2) dielectric breakdown, the current is initially interrupted at current zero, however, the dielectric strength of the breaker gap is still insufficient to withstand the TRV (transient recovery voltage), and dielectric reignition occurs. In this case, voltage breakdown occurs at higher values. These dielectric breakdowns are specific to the particular circuit breaker design.
5. **Rate of rise of the TRV.** Information about the quality of a breaking operation can also be deduced from the rate of rise of the TRV. The rate of rise is then defined as the gradient of the tangent at the voltage characteristic. The weaker the breaking operation the smaller this will be.

Testing and Measuring

Tests will be performed using a current-injection circuit as described by Weil and a model of the double-

nozzle circuit breaker will be used [3]. The thermal interrupting abilities are evaluated by the di/dt values of the current from the voltage source and by the du/dt of the transient recovery voltages. The following variables will be measured during every test. High current period: 1) current, 2) arc voltage, and 3) pressure. Current zero period: 1) arc voltage, 2) current, 3) the rate of change of current (di/dt), 4) the rate of change of transient recovery voltage (du/dt), and 5) pressure.

References

- [1] Niemeyer L., 1998, *A systematic search for insulation gases and their environmental evaluation*, Gaseous Dielectrics VIII, New York: Plenum, 459-464
- [2] Habedank U. and Knobloch H., 2001, *Zero-crossing measurements as a tool in the development of high-voltage circuit breakers*, IEE Proc. Sci. Meas. Technology, Vol. 148 No. 6, 268-272
- [3] Dommerque R. et al, 2005, *Influence of the electrode vapour contamination on the interrupting limit of SF₆ self-blast circuit breakers. Part I: Experimental investigations*, XVIth Symposium on Physics of Switching Arc, Brno.

Contact

M. Sc. Danial
danial@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94934

Hybridschalter für DC Anwendungen

Die Gleichspannungs-Energieübertragung hat unlängst an Bedeutung gewonnen. Für eine weitere Verbreitung, gegebenenfalls auch in der Verteilungsebene, werden Kontroll- und Schaltelemente benötigt. Die derzeit eingesetzten Leistungsschalter sind ohne Zusatzmaßnahmen nicht in der Lage DC-Ströme zu unterbrechen, so dass ein neuer Typ Schalter benötigt wird. Der Hybridschalter, bestehend aus einer Parallelschaltung von Vakuumschalter und Halbleiterschalter, scheint für diese Aufgabe in Frage zu kommen. Für kommerzielle Anwendungen muss insbesondere das Zusammenspiel der beiden Elemente untersucht und koordiniert werden.

Einleitung

Aufgrund der Fortschritte in der Leistungselektronik stellt die DC (direct current) Übertragung in speziellen Anwendungsfällen eine sowohl technische als auch wirtschaftliche Alternative zur AC (alternating current) Übertragung dar. Eingesetzt werden Gleichspannungen bei der Punkt-zu-Punkt Leistungsübertragung über größere Distanzen und bei Seekabeln. Bei der Energieverteilung mit Wechselstrom (bzw. Drehstrom) als auch mit Gleichstrom sind Sicherheitselemente unverzichtbar. Die kommerziellen AC-Leistungsschalter (wie der Vakuumschalter und der SF₆ Selbstblaschalter) benötigen einen Stromnulldurchgang, um die auftretenden Kurzschlussströme zu unterbrechen. Fehlt dieser (wie im Falle des Gleichstromes) sind diese Schalter nur mit besonderen Maßnahmen einsetzbar. Die Aufgabe kann jedoch von einem Halbleiterschalter ausgeführt werden. Er arbeitet ohne Erzeugung eines Schaltlichtbogens und ist darüber hinaus sehr zuverlässig und wartungsarm [1]. Als Nachteile sind die Empfindlichkeiten gegen Überspannungen und überhöhte Ströme, welche den Leistungsschalter zerstören können, und ihre hohen Durchlassverluste in Betrieb aufgrund des relativ hohen Widerstandes aufzuführen. Um diese Verluste zu verrin-

gern, kann ein Vakuumschalter (VS) parallel angeordnet werden. Die resultierende Schaltung wird Hybridschalter (HS) genannt und soll die vorteilhaften Eigenschaften beider Technologien verbinden. Bei Auftreten eines Fehlers wird der Strom zuerst vom Vakuumschalter zum Halbleiterschalter kommutiert und anschließend geschaltet.

Betriebszustände des Hybridschalters

Ein Hybridschalter besteht definitionsgemäß aus mindestens zwei verschiedenen Schalterarten. Für die Gleichstromunterbrechung wird typischerweise ein mechanischer Schalter parallel zu einem Halbleiterschalter eingesetzt. Der prinzipielle Aufbau eines HS ist in Abb. 1 dargestellt. Die im Ersatzschaltbild zu sehenden Bauteile werden im Nachfolgenden erläutert.

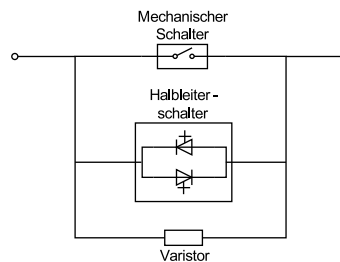


Abb. 1: Prinzipieller Aufbau eines Hybridschalters

Eingeschalteter Zustand

Aufgrund des geringeren Widerstandes des mechanischen Schalters (einige $\mu\Omega$) findet in diesem hauptsächlich der Stromfluss statt. Dadurch ist die Hauptaufgabe dieses Elements erfüllt.

Schaltvorgang

Bei Eintritt eines Fehlers (wie in [2] beschrieben) muss der Kurzschlussstrom so schnell wie möglich unterbrochen werden. Hierzu wird durch Öffnen des mechanischen Schalters der Strom auf das Halbleiterbauelement kommutiert. Nach Abschaltung können die auftretenden transienten Überspannungen durch den Varistor begrenzt werden, um den Schalter zu schützen.

Ausgeschalteter Zustand

Der Strom ist durch den geöffneten Schalter und den Aus-Zustand des leistungselektronischen Bauelements unterbrochen. Eine galvanische Entkopplung könnte durch einen weiteren mechanischen Schalter (seriell angeordnet) oder andere Maßnahmen erreicht werden.

Der Vakuumschalter als mechanisches Schaltelement im Hybridschalter

Wie bei der Beschreibung des Schaltvorganges eines HS angedeutet, ist das Zusammenspiel zwischen dem mechanischen Schalter und dem Halbleiterschalter von besonderer Bedeutung. Insbesondere die Zeit zwischen Detektion des Fehlers und der tatsächlichen Kurzschlussunterbrechung ist ein entscheidender Faktor, welcher die Ausschaltleistung des Halbleiterbauelements bestimmt. Der Strom steigt mit zunehmender Zeit nach Fehlereintritt an, so dass auch der zu schal-

tende Kurzschlussstrom größer wird. Daher sollte die Ausschaltzeit, die sich vorwiegend aus der Antwortzeit des mechanischen Schalters und der Zeit für die Wiederverfestigung der Schaltstrecke zusammensetzt, minimiert werden. Beide Anforderungen werden am besten vom Vakuumschalter erfüllt. Zum einen besitzt dieser eine geringe Masse des bewegten Kontaktes und eine kleine Schaltdistanz und zum anderen besonders gute dielektrische Eigenschaften des Vakuums.

Ausblick

Das Zusammenspiel zwischen Vakuumschalter und Halbleiterschalter soll unter Berücksichtigung der Netzanforderungen genauer erforscht werden. Durch die Untersuchungen des Kommutierungsprozesses innerhalb des VS könnten die Anforderungen an den Halbleiterschalter verringert und damit die Kosten gesenkt werden.

Quellen

- [1] Atmadji, A.M.S.; Sloot, J.G.J., *Hybrid Switching: A Review of Current Literature*, IEEE Energy Management and Power Delivery. Proceedings of EMPD, 1998
- [2] Meyer, C.; Kowal, M.; De Doncker, R.W., *Circuit breaker concepts for future high-power DC-applications*, IEEE Industry Applications Conference, 2005

Kontakt

Dipl.-Ing. Ming-Chark Tang
tang@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94914

Hybrid Switching for DC Applications

In future DC energy distribution may become more relevant. For further spreading of DC networks the current has to be controllable and switchable. The presently used circuit breakers are not capable for this task, therefore a new technology is needed. A hybrid circuit breaker consisting of a vacuum interrupter and a semiconductor switch is a promising solution. The interaction has to be investigated and coordinated for commercial applications.

Introduction

Due to the improvements in power semiconductor development direct current (DC) distribution may become a technical and economical alternative to alternating current (AC) technology. DC distribution systems are nowadays used for point-to-point transmissions over long distances or via sea cables. For both AC and DC transmission networks safety elements to interrupt short circuit currents are needed. Commercial AC circuit breakers (for example vacuum interrupters for medium voltages and SF₆ self-blast circuit breakers for high voltages) need a natural current zero crossing to interrupt the short circuit current. Without a current zero crossing (DC distribution) these circuit breakers are not applicable. An interesting alternative are semiconductor switches offering already high reliability and reduced maintenance [1]. Disadvantages are their sensitivities to transient overvoltages and overcurrents, which can lead to destruction of the elements, and also their relatively high on-state power losses due to their ohmic resistance. To reduce the conduction losses a vacuum interrupter (VI) can be arranged in parallel, resulting to a hybrid circuit breaker (HCB) and obtaining both advantages. By occurrence of a failure the current has to be commutated to the semiconductor switching device.

Operation modes in Hybrid Switching

By definition a HCB consists of at least two different switching technologies. For DC current interruption a parallel arrangement of a mechanical switch and a semiconductor one is used typically. A conventional hybrid circuit breaker is shown in Figure 1. The illustrated elements in the equivalent circuit diagram are described in the following.

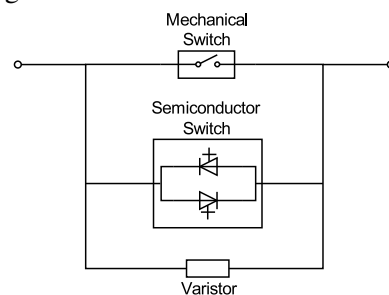


Fig. 1: Conventional Hybrid Circuit Breaker

On-state mode

Due to the least resistance of the mechanical switch (some $\mu\Omega$) the main current flow will be transported here. The main task of this element is fulfilled by this operation.

Switching mode

If a failure occurs as described in [2], the short circuit current has to be interrupted as quickly as possible. Therefore the current has to commute to the semiconductor switch by opening

of the mechanical switch. After successful interruption a transient recovery voltage can be limited by a varistor to protect the switch.

Off-state mode

The current is interrupted by the opened mechanical contacts and the switch-off mode of the semiconductor element. A galvanic isolation can be achieved by adding a second mechanical switch in serial to the HCB or by other means.

Using a Vacuum Interrupter as Mechanical Switch

As described the interaction of the mechanical switch and the semiconductor switch is a relevant aspect of HCB design. Especially the time duration from detecting the failure and interruption of the short circuit is an important value, which determines the interruption capability of the semiconductor device. The short circuit current rises with increasing time and thus the requirements of the semiconductor are higher. Therefore the interruption time has to be minimized. This value is mainly based on the response time of the mechanical switch and the time for the dielectric recovery of the switching gap. Both requirements fit to the characteristics of a VI due to a small weight of the moving contact and a low gap

distance on the one hand and the outstanding dielectric properties of vacuum insulation on the other hand.

Outlook

The interaction of the VI and the semiconductor switch has to be analyzed. The investigations of the processes inside the VI during commutation can lead to decreasing interruption capability and therefore lower costs of the semiconductor device.

References

- [1] Atmadji, A.M.S.; Sloot, J.G.J., *Hybrid Switching: A Review of Current Literature*, IEEE Energy Management and Power Delivery. Proceedings of EMPD, 1998
- [2] Meyer, C.; Kowal, M.; De Doncker, R.W., *Circuit breaker concepts for future high-power DC-applications*, IEEE Industry Applications Conference, 2005

Contact

Dipl.-Ing. Ming-Chark Tang
tang@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94914

Hochfrequenzkonditionierung von Vakuumschaltkammern

Die erforderliche Spannungsfestigkeit von neuen Vakuumschaltkammern wird erst durch eine Konditionierung erreicht. Alle gängigen Verfahren nutzen hierbei strombegrenzte Durchschläge, bei denen mit einem Lichtbogen Rauigkeiten und Verunreinigungen der Schaltkontakte beseitigt werden. Ein neu entwickeltes Verfahren nutzt hochfrequente Ströme im kHz-Bereich. Es wird untersucht, inwieweit sich mit diesem Verfahren die Spannungsfestigkeit gegenüber konventionellen Verfahren steigern lässt. Ergänzend werden optische Untersuchungen der Konditionierungslichtbögen eines Modellschalters durchgeführt sowie Oberflächenanalysen mit Hilfe der Rasterelektronen- und Rasterkraftmikroskopie.

Einleitung

Mit einem neu entwickelten Verfahren der Hochfrequenz (HF)-Konditionierung für Vakuumschaltkammern lässt sich die Spannungsfestigkeit von industriellen Vakuumschaltkammern deutlich erhöhen. Neben Untersuchungen zur HF-Konditionierung an industriellen Vakuumschaltkammern werden an einem Modellschalter optische Untersuchungen mit einer CCD-Kamera durchgeführt, die eine Bewertung der räumlichen Verteilung der Konditionierungslichtbögen ermöglichen.

Versuchsstand zur HF-Konditionierung

Der Versuchsaufbau zur HF-Konditionierung besteht aus zwei Schwingkreisen, deren Resonanzströme durch die Vakuumschaltkammer geleitet werden (Abb. 1). Durch die Stromüberlagerung werden zahlreiche Stromnulldurchgänge generiert, in denen ein Verlöschen und anschließendes Wiederzünden des Konditionierungslichtbogens ermöglicht wird. Nach einer Stromunterbrechung in einem Stromnulldurchgang erfolgt die Wiederzündung idealerweise an einer anderen Stelle auf der Kontaktstück-

oberfläche, wodurch die Emissionszentren sukzessive beseitigt werden.

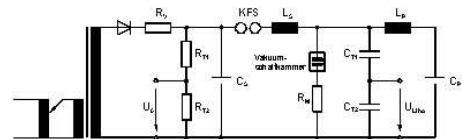


Abb. 1: Versuchsaufbau zur Hochfrequenz-Konditionierung

Optische Untersuchungen der Konditionierungslichtbögen

Da die Spannungsfestigkeit der Vakuumschaltkammer nur dann deutlich gesteigert wird, wenn alle kritischen Emissionszentren beseitigt werden, ist das häufige Wiederzünden allein noch kein Indiz für eine erfolgreiche HF-Konditionierung. Erst die großflächige Erfassung der Kontaktstückoberfläche gewährleistet eine erfolgreiche Konditionierung. Mit Hilfe einer CCD-Kamera werden die während der Konditionierung auftretenden Lichtbögen aufgenommen. Zur besseren Beurteilung der zeitlichen Entwicklung der Konditionierungslichtbögen werden während einer HF-Konditionierung zwei Aufnahmen in direkter Folge gemacht (Abb. 2). Die räumliche Verteilung der Konditionierungslichtbögen wird durch eine Spie-

gelanordnung erfasst, mit der eine zweiseitige Beobachtung der Konditionierungslichtbögen möglich ist.

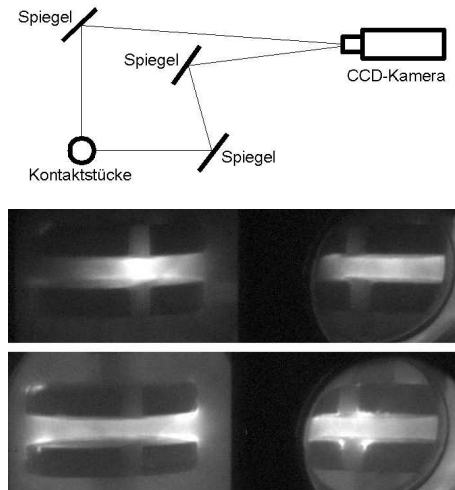


Abb. 2: zweiseitige Beobachtung des Konditionierungslichtbogens

Oberflächenanalyse der Schaltkontakte

Neben licht- und elektronenmikroskopischen Untersuchungen der Kontaktstückoberflächen werden zur Beurteilung der Oberflächenrauigkeit an ausgesuchten Stellen rasterkraftmikroskopische Analysen durchgeführt.

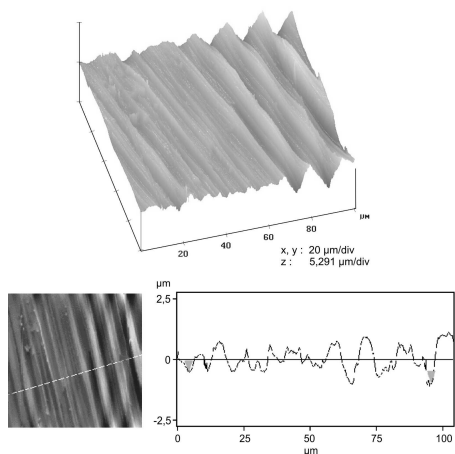


Abb. 3: Kontaktfläche vor der HF-Konditionierung

Abb. 3 zeigt die Oberfläche eines Kontaktstückes vor einer HF-Konditionierung. Es sind deutlich die durch die spanende Bearbeitung entstandenen Riefen zu erkennen. Durch die HF-Konditionierung nimmt die Rauhtiefe zu, die Geometrie weist aber keine scharfkantigen Konturen mehr auf, wodurch geometriebedingte Feldstärkerhöhungen wesentlich verringert werden (Abb. 4).

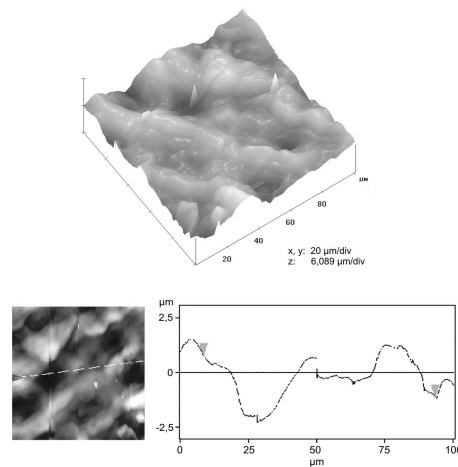


Abb. 4: Kontaktfläche nach der HF-Konditionierung

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

Kontakt

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

High-Frequency-Conditioning of Vacuum Circuit Breakers

The required withstand voltage of new vacuum circuit breakers is reached by a conditioning process. All established processes use current limited breakdowns whereby roughness and impurities of the contacts are eliminated by the arc. A newly developed process uses high frequency currents in the kHz-range to eliminate contact surface roughness with sharp profiles. The high-frequency conditioning process is investigated with the objective of increasing the dielectric strength compared with conventional processes. In addition, optical investigations on the conditioning arc of a model circuit breaker and analysis of the contact surface with scanning electron microscopy and atomic force microscopy are undertaken.

Introduction

The withstand voltage of industrial vacuum circuit breakers can be increased significantly using a new developed process of high frequency conditioning. In addition to investigations with industriell vacuum circuit breakers, the conditioning arcs of a circuit breaker model are investigated using a CCD-camera. Therewith the spacial distribution of the conditioning arcs during the high frequency conditioning is investigated.

Set-Up for the high-frequency conditioning process

The set-up for the high-frequency conditioning process consists of two resonant circuits, whose resonant currents are conducted through the vacuum circuit breaker (Fig. 1). Due to the superposition of the currents many current zero crossings are generated. During a current zero crossing a current interruption with subsequent reignition is possible. The reignition following a current interruption in a current zero crossing ideally takes place at a different location at the contact surface. Thereby emissions centers are eliminated successively.

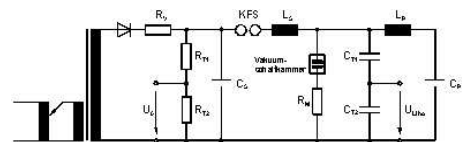


Fig. 1: Test Set-Up for High-Frequency-Conditioning

Optical investigations on the conditioning arc

A considerable increase of the dielectric strength is only reached, if all critical emission centers are eliminated. Thus, numerous reignitions are not a necessarily indication for an effective high-frequency-conditioning. In fact, conditioning arcs must occur on a large area of the contacts. A CCD-camera is used to observe the conditioning arcs of a model circuit breaker during a high-frequency conditioning process. To investigate the temporal distribution, two pictures are taken successively (Fig. 2). The spacial distribution is observed using a mirror arrangement. Thus, an observation of the conditioning arcs from two sides simultaneously is possible.

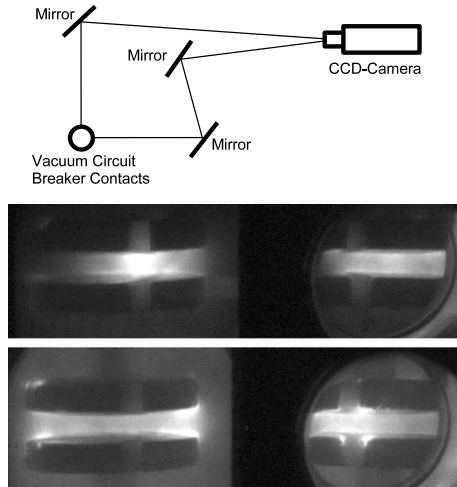


Fig. 2: Observation of the conditioning arcs from two sides

Surface Analysis of the Circuit Breaker Contacts

In addition to light-optical and scanning electron microscopical investigations, atomic force microscopy is used to investigate the surface of the contacts. In Fig. 3 a region of the contact surface before high-frequency conditioning is shown. The rills, caused by the shape cutting manufacturing process, are clearly visible.

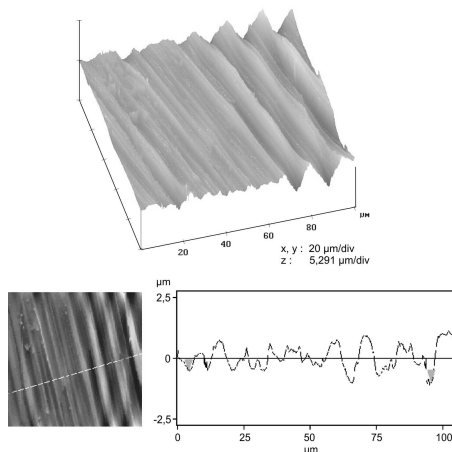


Fig. 3: Surface Analysis before HF-Conditioning

Due to the high-frequency conditioning the overall roughness of the contact surface increases, but the geometry does not have sharp edges any longer (Fig. 4).

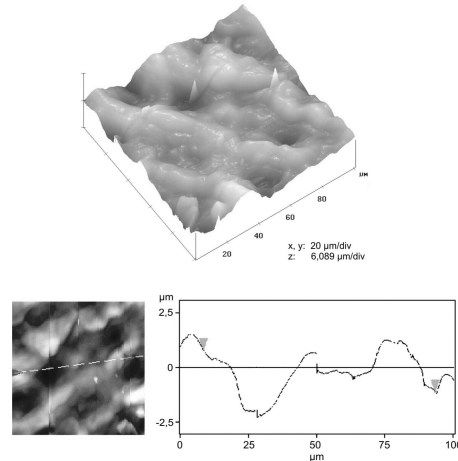


Fig. 4: Surface Analysis after HF-conditioning

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

Contact

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

Untersuchungen zum Einfluss von Feuchtigkeit auf die elektrische Spannungsfestigkeit von syntaktischem Schaum

Syntaktische Schäume bestehen aus mikroskopisch kleinen Hohlkugeln, die in eine Polymermatrix eingebettet sind. Ein solcher Schaum auf Epoxydharzbasis zeichnet sich durch hohe mechanische Belastbarkeit und eine geringe spezifische Dichte ($< 0,7 \text{ g/ccm}$) aus. Untersuchungen haben gezeigt, dass dieses Material eine hohe Spannungsfestigkeit aufweist und als elektrischer Isolierstoff eingesetzt werden kann. Ausserdem wurde festgestellt dass die Materialeigenschaften des Werkstoffes durch Herstellungsparameter (z.B. Feuchtigkeit) beeinflusst werden.

Syntaktischer Schaum - Aufbau und Anwendung

Syntaktischer Schaum ist ein Überbegriff für einen speziellen Schaumtyp, der aus einer Polymermatrix und kleinen Hohlkugeln (Mikrohohlkugeln, kurz "MHK") besteht, die in die Matrix eingemischt werden. Die Struktur dieses Schaumtyps unterscheidet sich von denen konventioneller Schäume, da die Gaseinschlüsse in diesem Fall von den Glaswänden des Füllstoffs umschlossen sind. Aus diesem Grund sind sie grundsätzlich kugelförmig und ihr Durchmesser ist durch den Durchmesser der verwendeten Mikrohohlkugeln, der in der Regel weniger als $500 \mu\text{m}$ beträgt, festgelegt. Syntaktischer Schaum hat gegenüber anderen Schäumen ausserdem den Vorteil, dass die mechanischen Eigenschaften des Materials durch eine Anpassung verschiedener Herstellungsparameter (Wandstärke und Durchmesser der Kugeln, Oberflächenbeschichtung u.v.m.) verändert werden können. Durch eine geeignete Parameterwahl ist es so möglich, einen "maßgeschneiderten" Werkstoff herzustellen, der Anforderungen bezüglich der mechanischen Stabilität und des spezifischen Gewichtes

möglichst genau erfüllt. Aus der Hochspannungstechnik sind bisher nur wenige Anwendungsbereiche bekannt, in denen dieser Schaum verwendet wird. Ein Beispiel ist der Einsatz als trockener Isolierstoff.

Zur Zeit wird am Institut ein syntaktischer Schaum entwickelt der eine hohe elektrische mit einer hohen mechanischen Belastbarkeit verbinden soll. Dieser Schaum besteht aus Epoxydharz und Glas-Mikrohohlkugeln als Füllstoff. Aufgrund der Materialstruktur ist zu erwarten, dass bei einer ausreichend hohen Feldstärke Teilentladungen auftreten. Dieses Problem lässt sich bei dem zu entwickelnden Werkstoff aber wahrscheinlich durch eine geeignete Wahl der Herstellungsparameter lösen.

Einfluss von Feuchtigkeit

Füllstoff und Matrix bilden zusammen ein heterogenes System, das mit glasfaserverstärktem Kunststoff ("GFK") vergleichbar ist. Bei GFK ist bekannt dass sich die elektrischen Eigenschaften durch Ionenaustauschprozesse oder Glaskorrosion verschlechtern können, wenn im Bereich zwischen Harzmatrix und Glasfüllstoff

(der “Zwischenphase“) Wasser als Reaktionspartner zur Verfügung steht. Um die Auswirkung von Feuchtigkeit auf den Schaum zu testen, werden Proben aus getrockneten und feucht gelagerten MHK für die Herstellung von Proben verwendet. Diese Proben werden zeitnah nach der Herstellung mit einer Gleichspannungsrampe bis zum Durchschlag belastet. Das Ergebnis der Messreihe ist in Abb. 1 dargestellt.

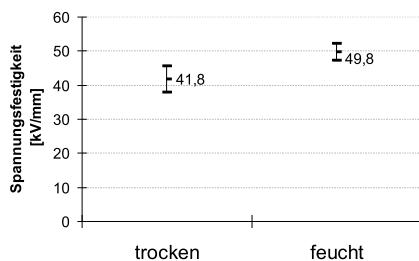


Abb. 1: DC-Kurzzeitspannungsfestigkeit von synt. Schaum (Konfidenzinterv.: 95 %)

Die bereits im Jahresbericht 2004 vorgestellten hohen Spannungsfestigkeiten werden durch die aktuellen Messungen bestätigt, der Zeitraum zwischen Herstellung und Test der Proben ist also zu kurz, um Auswirkungen der oben genannten Prozesse zu messen. Stattdessen ist bei den Proben aus feuchten Mikrohohlkugeln sogar eine Erhöhung der Spannungsfestigkeit feststellbar. Eine mögliche Erklärung liefert das folgende einfache Ersatzschaltbild 2:

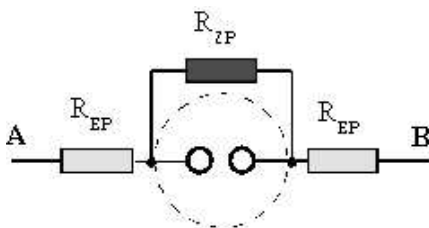


Abb. 2: Ersatzschaltbild für syntaktischen Schaum bei DC-Belastung

Unter R_{EP} sind die Widerstandswerte der Harzschicht um eine Mikrohohlkugel zusammengefasst, R_{ZP} steht für den Oberflächenwiderstand der Kugel. Unter der Annahme, dass der Durchschlag bei kurzer Lagerzeit der Proben und Kurzzeitbelastung im Kugelhohlraum initiiert wird, kann die MHK vereinfacht durch eine Funkenstrecke dargestellt werden. Die Feldverteilung stellt sich dem Verhältniss des Spannungsteilers $R_{EP} - R_{ZP} - R_{EP}$ entsprechend ein, ein durch Feuchtigkeit verringerter Oberflächenwiderstand R_{ZP} bewirkt deswegen einen geringeren Spannungsabfall über der Kugelfunkenstrecke. Die Folge davon ist dass eine höhere Spannung zwischen A und B angelegt werden muss damit die Funkenstrecke zündet (also die Durchbruchfeldstärke in der Mikrohohlkugel erreicht wird).

Zusammenfassung

Untersuchungen haben gezeigt, dass syntaktischer Schaum eine hohe Kurzzeitspannungsfestigkeit, eine geringe spezifische Dichte und eine hohe mechanische Festigkeit aufweist. Feuchtigkeit in der Zwischenschicht bewirkt kurzzeitig eine zusätzliche Erhöhung der Spannungsfestigkeit. Dies kann anhand eines entsprechenden Modells nachvollzogen werden. Als nächster Schritt sind Langzeittests zum Einfluss von Feuchtigkeit und Untersuchungen zum Teilentladungsverhalten geplant.

Kontakt

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

Investigation of the influence of humidity on the breakdown field strength of syntactic foam

Syntactic foams consist of microscopic hollow spheres ("micro spheres"), which are embedded in a matrix of polymeric material. If an epoxy matrix is used the foam usually shows a high mechanical strength but has nevertheless a low specific density ($<0,7 \text{ g/ccm}$). Investigations have shown that such a foam provides a high electrical strength and the material can therefore be employed as an electric insulation material. The production parameters (e.g. humidity) have a measurable effect on the material properties.

Introduction

Syntactic foam is a special kind of gas filled polymeric material. It consists of a polymeric matrix ("binder") and a filler of hollow spherical particles ("micro spheres") distributed in the binder. Compared to conventional foamed polymers, the structure is slightly different, because the embedded gas volumes are enclosed by the walls of the spheres. The voids are completely spherical and do have a maximal size which is defined by the diameter of the micro spheres (usually below $500 \mu\text{m}$). Syntactic foams offer the advantage that several production parameters (e.g. wall thickness, diameter of the spheres, surface conditioning etc.) can be varied. With the right choice of these, the production of "tailor-made" syntactic foams, which fulfil certain requirements concerning weight and mechanical strength is possible. Regarding the electrical properties, up to now only very few applications in the area of high voltage engineering are known, for example the use of a special syntactic foam as a light and dry insulation material.

At our institute, a syntactic foam is developed that combines high electrical and mechanical strength. This foam consists of an epoxy resin binder and

glass micro spheres as filler material. Due to the structure of the material, partial discharges could be expected if the applied field stress is high enough. For the foam which is currently developed, this problem can probably be solved with the right choice of production parameters.

Influence of humidity on the electrical properties

The filler and the binder of a syntactic foam form a heterogeneous system which can be compared to fibre reinforced plastics. Fibre reinforced plastics have been extensively investigated in the last couple of years and it is a well known fact that humidity can affect its properties: chemical reactions like glass corrosion or ion exchange processes which lead to an erosion process of the material can take place if water molecules are present in the area between the glass filler and the polymer binder (called "intermediate layer"). In order to investigate the effect of humidity on the short term electric breakdown field strength, samples made out of dried spheres and spheres which have been stored in an humid environment are used to produce samples of syntactic foam. Soon after the pro-

duction, a DC voltage ramp is applied to each sample until a breakdown occurs. The results are shown in figure 1.

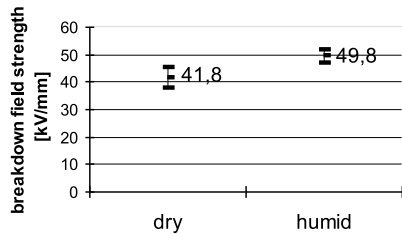


Abb. 1: breakdown field strength of syntactic foam (confidence interval: 95 %)

Due to the short storage time, the above mentioned erosion processes do not affect the electrical properties of the samples. The measured values are therefore in accordance with the results which have already been presented in the annual report 2004. Instead of a decrease, an increase of the breakdown field strength has been measured. A possible explanation can be given by using a simple equivalent circuit diagram (fig. 2).

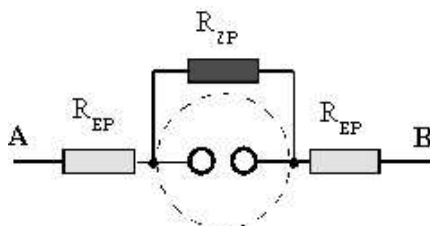


Abb. 2: equivalent circuit diagram for DC

R_{EP} are the resistances of the epoxy resin layers around a micro sphere, R_{ZP} is the resistance of the sphere's surface. Assuming that under short-time conditions the break-

down of syntactic foams is triggered inside the spheres, a spark gap represents the sphere itself. The DC electric field strength will be distributed according to the ratio of the involved resistances. If the surface resistance of the sphere is lowered due to humidity in the intermediate layer, the $R_{EP} : R_{ZP}$ ratio will increase which means that a smaller fraction of the voltage falls along R_{ZP} . The voltage along R_{ZP} determines the electric field strength between the sphere electrodes (respectively inside the micro sphere). As a consequence a higher voltage between A and B is needed to cause a breakdown.

Conclusion

Investigations have shown that syntactic foam provides a high short term breakdown strength combined with a low specific density and a high mechanical strength. The breakdown field strength can temporarily be increased if humidity is present in the intermediate layer between filler and binder. An explanation for this behaviour can be provided by a simplified model. As a next step, longterm tests concerning the impact of humidity and investigations on the partial discharge behaviour have to be carried out.

Kontakt

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

Ultraschalldiagnostik zur Qualitätsbewertung polymerer Isoliersysteme

Die Kenntnis des Zustandes elektrischer Isolationssysteme eine Voraussetzung für einen zuverlässigen Netzbetrieb. Die Ultraschalldiagnostik hat sich dabei als ein geeignetes Diagnoseverfahren herausgestellt. Basierend auf den bisherigen Ergebnissen werden Arbeiten vorgestellt, die sich mit der Untersuchung des Auflösungsvermögens von Fehlerstrukturen beschäftigen. Ferner wird ein Filterverfahren zur Erhöhung des Signal-Rausch-Abstandes singulärer Fehlstellen vorgestellt und ein Auswertungsalgorithmus zur Detektion von Ablösungen an inneren Material Grenzflächen beschrieben.

Einleitung

In der Energietechnik kommt der Qualitäts- und Zustandsbewertung industriell gefertigter Betriebsmittel ein besonderer Stellenwert zu, sowohl während und nach der Produktion als auch im Betrieb. Hier kommen für Isoliersysteme elektrische Standardprüfverfahren, wie z.B. die Teilentladungsmessung und die Stoßspannungsprüfung, zum Einsatz. Alle diese Verfahren haben die Nachteile, dass sie nur bedingt ortsauflösend sind und weitere detaillierte Informationen über die Fehlerart häufig nicht liefern, obwohl diese für eine Optimierung des Herstellungsverfahrens relevant wären. Die nicht destruktive und ortsauflösende Ultraschalldiagnostik hat sich für die Zustandsbewertung für elektrische Isoliersysteme als geeignet herausgestellt [1]. Elektrisch kritische Fehlerstrukturen sind detektierbar und mit Ultraschall nach Größe und Position bewertbar. Gegenstand der aktuellen Forschung ist daher die Untersuchung von Ablösungen an inneren Grenzflächen und Inhomogenitäten im Isoliermaterial. Dadurch ergeben sich Arbeitsgebiete wie beispielsweise die Anpassung der diagnostischen Verfahren auf unterschiedliche Isolieranordnungen und die Untersuchung der Verfahren auf ihre Anwendbarkeit, Untersuchungen

zur Auflösbarkeit der verwendeten Ultraschallsysteme, und die Weiterentwicklung und Optimierung der Ultraschallsignalverarbeitung und der Fehlerbewertung [2].

Bei der Zustandsbewertung von Hochspannungskabelmuffen [3] wird derzeit eine Datenbank zur statistischen Absicherung der Korrelation zwischen elektrischer Isolierfähigkeit und Ultraschallprognose aufgebaut, um dadurch die Qualität der Prognose weiter zu verbessern.

Ermittlung des Auflösungsvermögens des Messsystems

Vorangegangene Untersuchungen haben gezeigt, dass kugelförmige Fehlstellen abhängig vom Material und der Tiefenlage ab einer Größe von ca. $50\text{ }\mu\text{m}$ bis $100\text{ }\mu\text{m}$ erkannt werden können. Es soll nunmehr das Auflösungsvermögen des Messsystems ermittelt werden, d.h. es soll ermittelt werden, welche eng benachbarte Strukturen noch getrennt aufgelöst werden können. Um das Auflösungsvermögen des Messsystems zu bewerten, werden standardisierte Landolt-Ringe verwendet, welche regelmäßig für die Bewertung des Auflösungsvermögens von bildverarbeitenden Systemen eingesetzt werden (Abbildung 1, links oben). Es werden vier verschie-

dene Größen von Ringen mit unterschiedlichen Spaltbreiten s verwendet.

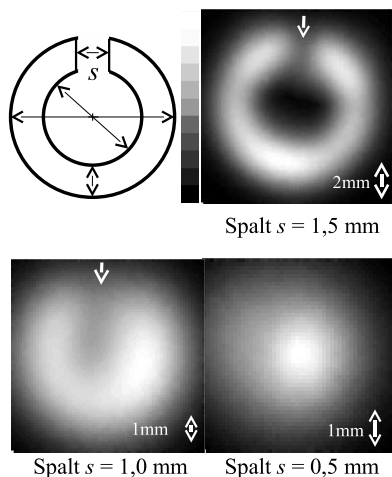


Abb. 1: Standardisierter Landolt Ring und Ultraschall-Bilder von Ringen verschiedener Größe in Silikon (Tiefe: 20 mm)

Die Ringe werden in Silikon sowie in Epoxydharz in verschiedenen Tiefen eingegossen und mit dem Ultraschallmesssystem vermessen. In Abb. 1 sind die gemessenen Ultraschallbilder von drei Landolt-Ringen unterschiedlicher Größe und Spaltbreite in einer Tiefe von 20 mm dargestellt. Ein Ring wird als "erkannt" klassifiziert, wenn das Verhältnis zwischen maximaler Amplitude des Rings und minimaler Amplitude in der Spaltmitte mehr als 3 dB beträgt. Es zeigt sich, dass das Auflösungsvermögen eine Abhängigkeit von der Tiefe und dem Material aufweist und im Bereich von $0,8 \text{ mm}$ bis $1,5 \text{ mm}$ liegt.

Ultraschallsignalverarbeitung

Da die untersuchten polymeren Isolierstoffe im Vergleich zu Metallen eine sehr hohe Schalldämpfung aufweisen, kommt der Signalverarbeitung ein

besonderer Stellenwert bei der Ultraschallbewertung elektrischer Betriebsmittel zu. Für die Detektion singulärer Fehlstellen kommt deshalb ein spezielles Verfahren zur Erhöhung des Signal-Rauschabstandes (SNR) zum Einsatz. Es handelt sich um Filterungsverfahren, die Nachbarschaftsbeziehungen zwischen angrenzenden Impuls-Echo-Diagrammen (A-Scans) im Messfeld ausnutzen und dadurch eine dreidimensionale Filterung darstellen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass ein Messfeld, bestehend aus $X * Y$ A-Scans mit Länge Z (typischerweise 10 bit: 0 bis 1024) ein dreidimensionales Skalarfeld darstellt. Da die Schrittweite ($< 1000 \mu\text{m}$) im Regelfall kleiner ist als die Ausdehnung des Schallwandlers ($\varnothing 10 \text{ mm}$), sind Informationen über Fehlstellen in mehreren benachbarten A-Scans vorhanden. Eine Filterung des Feldes wird erreicht, wenn das Messfeld mit einem dreidimensionalen Filterkern gefaltet wird. Um die SNR singulärer Fehlstellen zu erhöhen, kommt eine tiefengemittelte, zweidimensionale Laplace-Filterung zum Einsatz. Dies wird durch das in Abbildung 2 schematische Filterkern-Design erreicht [2].

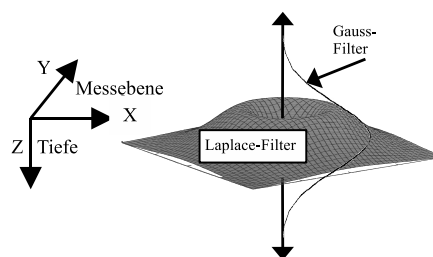


Abb. 2: Filterkern (schematisch)

Die zweifache Ableitung durch die Laplace-Filterung erfolgt ausschließlich in der XY-Ebene. Dies hat zur Folge, dass Echosignale makroskopischer Strukturen, wie Grenzflä-

chenreflexionen oder Schallwandler spezifische Signale, auf Null abgebildet werden und Signale singulärer Fehlstellen stark betont werden. Zur Rauschreduktion findet in der dritten Dimension eine Gauss-Mittelung statt, da diese im Einzelnen sehr sensibel auf Rauschen reagieren.

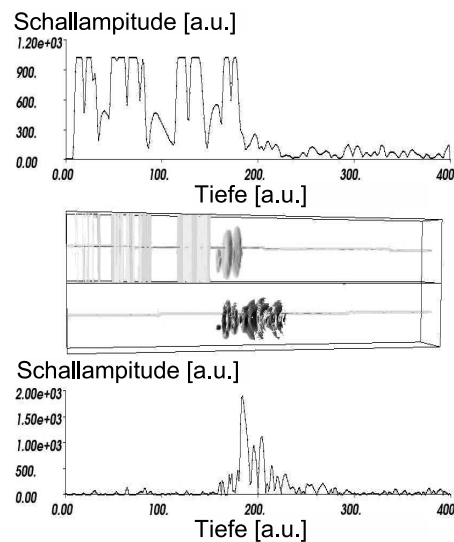


Abb. 3: oben: ungefilterte Daten
oben: gefilterte Daten

Abbildung 3 zeigt die Leistungsfähigkeit der Filterung an einem Beispiel. Zu oberst ist ein A-Scan abgebildet, in dem eine singuläre Fehlstelle als solche nicht zu erkennen ist. Darunter folgt eine 3D-Darstellung der Messumgebung, wobei die Flächen Äquipotentialen des Schalldrucks bei 590 [a.u.] entsprechen. Darin ist zu erkennen, dass das Signal an der Stelle im Bereich von 250 bis 300 einer singulären Fehlstelle zuzuordnen ist. Die Darstellung im unteren Bereich der Abbildung zeigt das Messfeld nach der Filterung. Deutlich ist die Verringerung der flächigen Signale im Verhältnis zum Fehlstellensignal zu erkennen.

Algorithmus zur Bewertung von inneren Grenzflächen

Es wird ein Algorithmus zur automatischen Bewertung von Grenzflächen entwickelt und in Messungen angewendet [2]. Der Algorithmus beruht darauf, die Phasenlage von an den Grenzflächen reflektierten Ultraschall-Impulsen bei der Bewertung zu berücksichtigen. Wenn an der Grenzfläche eine offene Ablösung oder ein Riss auftritt, so befindet sich eine dünne Gasschicht zwischen den Materialien. Dies hat zur Folge, dass der Schallimpuls bei der Reflexion einen Phasensprung an der Grenzfläche erfährt [1]. Der Algorithmus verwendet eine normierte Impulskorrelationsfunktion $\rho_{fg}^E(\tau)$ als Ähnlichkeitsmaß zweier Energiesignale $f(t)$ und $g(t)$ mit den Energien E_f und E_g :

$$\rho_{fg}^E(\tau) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} f(t)g(t+\tau)dt}{\sqrt{E_f E_g}}$$

Bei der Anwendung des Algorithmus wird zuerst ein Echoimpuls an einer regulären Grenzfläche aufgenommen, welcher als Referenzimpuls dient. Anschließend wird die Grenzfläche untersucht, wobei an jedem Messpunkt der normierte Impulskorrelationsfaktor bezüglich des Referenzimpuls bestimmt wird. Liegt keine Ablösung vor, so liefert der normierte Impulskorrelationsfaktor Werte nahe 1. Auf Grund der Normierung haben Einflüsse, die auf die Amplitude des reflektierten Schallimpulses einwirken, wie beispielsweise Oberflächenrauigkeiten o.ä., keinen Einfluss. Liegt eine Ablösung vor, liefert der normierte Impulskorrelationsfaktor Werte nahe -1.

Im Folgenden werden Ergebnisse gezeigt, die an einem EP-Prüfkörper aufgenommen wurden, welcher eine 1 mm dicke

Kupferplatte beinhaltet (Abb. 4).

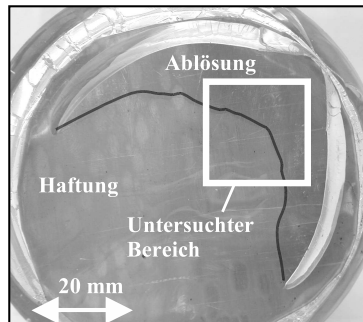


Abb. 4: Prüfkörper mit partieller Ablösung in der Draufsicht (mit nachgezeichneter Grenzlinie)

Auf Grund von Materialspannungen hat sich an der Grenzfläche Cu / EP eine Ablösung gebildet (Abb. 5, links).

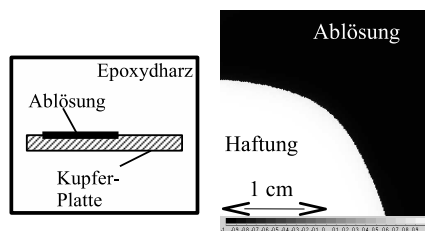


Abb. 5: links: Epoxydharz-Prüfkörper in der Seitenansicht
rechts: Ergebnis des Algorithmus

Die Abbildung 5 zeigt rechts einen Ausschnitt eines Scans (Schrittweite $200\ \mu\text{m}$) der Anordnung. Dargestellt ist der normierte Impulskorrelationskoeffizient. Eine scharfe Grenze zeigt deutlich, in welchem Bereich der Impulskorrelationskoeffizient bedingt durch die Ablösung von +1 auf -1 umspringt. Es fällt auf, dass keine Werte des Impulskorrelationskoeffizient im Bereich ± 0 auftreten. Der normierte Impulskorrelationsfaktor eignet sich bestens zur Bewertung von Grenzflächen, bzw. zur Detektion von Ablösungen. Er lässt sich allerdings nicht anwenden, wenn auf Grund einer Vor-

spannung der Anpressdruck zwischen den Materialien so hoch ist, dass keine Gasschicht zwischen den Materialien existiert. Anschließende Untersuchungen sollen die Anwendbarkeit des automatisierten Bewertungsverfahrens an realen Betriebsmitteln überprüfen.

Quellen

- [1] P. Walter, T. Wirz, C. Cornelissen, A. Schnettler: *Zustandsbewertung innerer Grenzflächen mittels Ultraschall*, ETG-Fachbericht 99, S. 247-252; VDE Verlag GmbH, Berlin 2005
- [2] P. Walter, T. Wirz, C. Cornelissen, A. Schnettler: *Evaluation Algorithms for Ultrasonic Condition Assessment of Polymeric Insulation Systems*, ISH 2005; Beijing (China) 2005
- [3] C. Cornelissen, T. Wirz, A. Schnettler, I. de Schrijver: *Ultrasonic for quality assessment of HV-joints Cigré 2004 session*, Paris (Frankreich), 2004

Kontakt

Dr. Hideki Ueno
ueno@eng.u-hyogo.ac.jp
++81/792/67/4863

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

Quality Assessment of Electrical Insulation Systems Using Ultrasound

The knowledge of the assessment of electrical insulation systems is precondition for a reliable service of the entire electrical device. The ultrasonic diagnosis has proven to be an appropriate method for condition assessment. In this report, investigations regarding the ultrasound system's resolution of flaw structures are presented, a filtering method for increasing the signal to noise ratio of singular inhomogeneities is introduced and a detection and evaluation algorithm for delaminations at inner material interfaces is exemplified.

Introduction

In electrical engineering, the condition assessment of industrially made equipment has high significance, before and during service. For this reason standard tests like partial discharge tests and impuls voltage tests are performed. All tests have in common, that the inhomogeneity position is rather unknown and further information about the inhomogeneities can not be obtained, which would be relevant for the optimisation of production parameters. The non-destructive and localizing ultrasound diagnosis has proven to be applicable for condition assessment of insulation systems [1]. Electrically critical inhomogeneities are detectable and evaluable using ultrasound. Subjects of the present research are investigations on delaminations at inner material interfaces and on inhomogeneities in insulation materials. The present work concerns the adaption of the measuring process and system (1) for different insulating designs and the investigation of the applicability, investigations on the ultrasound systems resolution and the development and optimisation of the ultrasonic signal processing as well as the evaluation of inhomogeneities [2].

The condition assessment of high voltage cable joints [3] has reached the level of building up a database

to statistically prove the correlation of electrical insulation capability and ultrasonic prognosis for further improving of the prognoses.

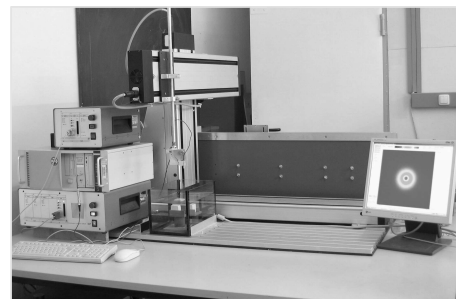


Fig. 1: Ultrasonic measurement system

Determination of the measurement system resolution

Precedent investigations have shown that the ultrasonic system is able to detect spherical inhomogeneities with a diameter of $50\text{ }\mu\text{m}$ to $100\text{ }\mu\text{m}$ depending on material and depth position. For the resolution evaluation, a Landolt ring (so-called Landolt-C) is used for the determination recognition ability for two adjacent but separated objects. A schematic illustration of a Landolt ring is shown in Figure 2. The Landolt ring is well-known as a standard testing tool of visual acuity on human eye testing, and it is often used for the acuity and the resolution evaluation of various equipments and im-

age processing systems. In the present work, four different sizes of the Landolt ring made of brass are prepared.

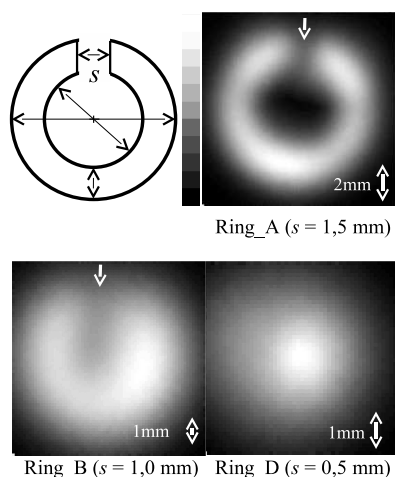


Fig. 2: Standard Landolt ring and ultrasonic images of rings with different sizes in silicone rubber (depth: 20 mm)

Before curing the matrix material, the Landolt ring was put into the material at defined positions. Two kinds of matrix material, silicone rubber and epoxy resin, are used. The resolution evaluation by the Landolt ring method in these materials is performed for the ultrasonic system. Figure 2 shows the ultrasonic images of three rings with different sizes in silicon rubber at a depth of 20 mm. Though it is depending on the ring position, the resolution of the present diagnostic system is within a range size of 0,8 mm to 1,5 mm. In other words, the system has a recognition ability for two different objects close to such a distance.

Ultrasonic signal processing

Due to the fact, that polymeric insulation materials show a very high sonic damping, signal processing is a major topic in the condition as-

essment of electrical equipment using ultrasound. For the detection of singular inhomogeneities, a special process is used to increase the signal to noise ratio (SNR). It is a 3-dimensional filtering method, that utilises the information of adjacent measuring-points. It has to be regarded that the measuring-data, consisting of $X * Y$ impulse-echo-diagramms (A-Scans) with the length of Z (commonly 10 bit: 0..1023) represent a 3-dimensional scalar-field. Usually, since the step-increment ($< 1000 \mu m$) is smaller than the transducer-size ($\varnothing 10 mm$), the inhomogeneities information is detectable within adjacent measuring-points. For filtering of the data-field, a convolution with a 3-dimensional filter-kernel is performed. Increasing the SNR of singular inhomogeneities, a 2-dimensional Laplacian filtering is done and is averaged with the filtering results of adjacent layers. Figure 3 shows the schematic structure of this filter-kernel.

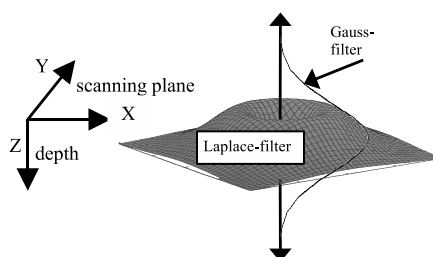


Fig. 3: Filter-kernel (schematic)

The derivation of second order is done in scanning plane only. This results in a significant reduction of macroscopic echo-signals, e.g. caused by interfaces, and of transducer specific signals. On the other hand signals of singular inhomogeneities are strongly amplified. For noise reduction the Gaussian averaging over the Laplacian filtering results is used in Z -direction, because a

single 2-dimensional Laplacian filter is very sensitive to noise, if used on a 3-dimensional data field.

Figure 4 demonstrates the capability of that filtering by showing an unfiltered and a filtered data field. On top of figure 4 an A-Scan is shown, where no singular inhomogeneity is obvious. Below that A-Scan, a 3-dimensional representation of the adjacent measuring points is showed. The surfaces correspond to sound pressure iso-surfaces with an amplitude of 590 [a.u.]. The structure at the position in the range of 250 to 300 can be related to a singular inhomogeneity. The filtered measurement field is represented analogically at the bottom of the figure. The reduction of planelike signals in relation to the inhomogeneities signal is obvious.

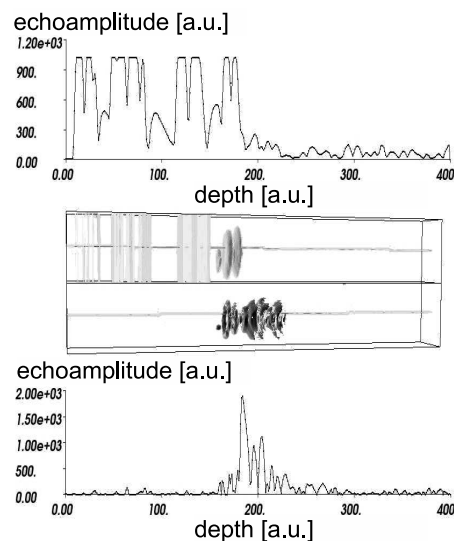


Fig. 4: top: 3D-representatio of unfiltered data with A-Scan
bottom: 3D-representation of filtered data with A-Scan

Algorithm for the evaluation of material interfaces

An algorithm is developed which is able to afford an automated quality assessment of material interfaces [3].

The algorithm considers the phase shift of the reflected ultrasonic impulses. If there is an open delamination or a crack at an interface, a small gas layer is existent between these materials. If the ultrasonic impulse is reflected at such an interface, an impulse phase jump occurs [1]. The algorithm uses a normalised impulse correlation function $\rho_{fg}^E(\tau)$ which calculates the similarity between two signals $f(t)$ and $g(t)$ with their signal energies E_f and E_g :

$$\rho_{fg}^E(\tau) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} f(t)g(t + \tau)dt}{\sqrt{E_f E_g}}$$

The calculated correlation coefficient is a measure of the similarity of two signals with a value in the range of $[-1...+1]$. In the following, the algorithm shall be explained in detail. At first, an echo impulse is measured at a regular interface which serves as a reference impulse. Afterwards the entire interface can be analyzed by scanning the test device using a positioning system. At every measuring point, the normalised impulse correlation factor is calculated in relation to the reference impulse. If no delaminations are present, the correlation coefficient provides values close to one. As a result of the normalisation, influences which act on the amplitude of the reflected ultrasonic impulse like rough surfaces or similar have no relevance. If a delamination exists, the normalised impulse correlation coefficient provides values close to -1.

The applicability of the algorithm is tested by measurements taken at a cylindrical epoxy resin probe which contains a copper plate in a depth of 25 mm (Fig. 5).

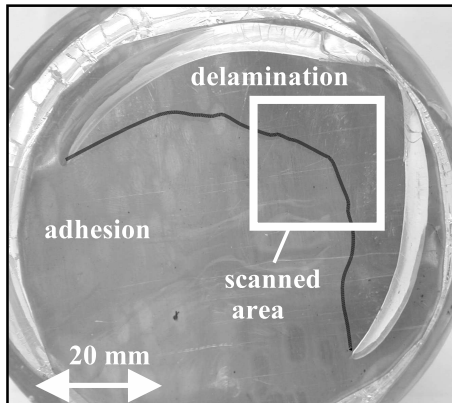


Fig. 5: Epoxy resin test piece with partial delamination in topview (drawn borderline for clarification)

As a result of thermo-mechanical material stresses, a partial delamination arose at the interface Cu / EP (see Fig. 6, left).

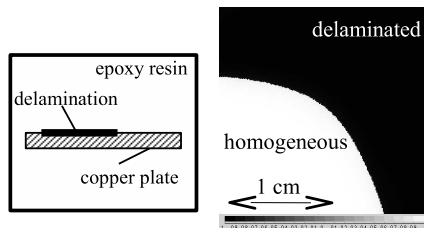


Fig. 6: left: Epoxy resin test piece in side view
right: algorithm result

In Figure 6, on the right side, the map of calculated impulse correlation coefficients is shown. An exact borderline shows clearly the area where the impulse correlation coefficient changes from +1 to -1. It is obvious that no values in the range of ± 0 appear.

The normalised impulse correlation coefficient is well suited to evaluate interfaces and to detect delaminations. Further investigations will concern the

appliance of the automated method for the examination of industrial type system equipment.

References

- [1] P. Walter, T. Wirz, C. Cornelissen, A. Schnettler: *Zustandsbewertung innerer Grenzflächen mittels Ultraschall*, ETG-Fachbericht 99 - Grenzflächen in elektrischen Isoliersystemen, S. 247-252; VDE Verlag GmbH, Berlin 2005
- [2] P. Walter, T. Wirz, C. Cornelissen, A. Schnettler: *Evaluation Algorithms for Ultrasonic Condition Assessment of Polymeric Insulation Systems*, ISH 2005; Beijing (China) 2005
- [3] C. Cornelissen, T. Wirz, A. Schnettler, I. de Schrijver: *Ultrasonic for quality assessment of HV-joints Cigré 2004 session*, Paris (Frankreich), 2004

Contact

Dr. Hideki Ueno
ueno@eng.u-hyogo.ac.jp
++81/792/67/4863

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

Untersuchungen zum Fremdschichtverhalten von nanostrukturierten superhydrophoben Isolierstoffoberflächen

Das elektrische Fremdschichtverhalten von Isolierstoffen ist in großem Umfang auf den Zustand der Oberflächen der Materialien zurückzuführen. Zur Verhinderung der von Fremdschichten verursachten Überschlügen in einem Hochspannungsisoliersystem ist es deshalb von besonderer Bedeutung, eine selbstreinigende Oberfläche von verwendeten Isolieranordnungen zu erzeugen und zu behalten. Mit neu entwickelten Nanopartikeln kann man die Superhydrophobieeigenschaft auf Isolierstoffe übertragen, wobei die elektrischen Untersuchungen zu solchen Beschichtungen im Rahmen dieser Arbeit noch durchgeführt werden sollen.

Einleitung

Bei Isolierstoffen der Energietechnik stellen die Grenzflächen stets kritische Gefahrenpunkte unter Hochspannungsbeanspruchungen dar. Aus diesem Grund ist es insbesondere erforderlich, das elektrische Verhalten der Betriebsmittel hinsichtlich der Grenzflächen zu untersuchen. Eine Methodik zur Verhinderung der Fremdschichtüberschlüge in Freiluft- und Innenraumbereichen ist die Verwendung von Silikonelastomer(SiE). Es weist neben Reduzierung des Gewichts sowie Erleichterung des Produktionsprozesses eine intrinsische Hydrophobieeigenschaft der Oberflächen auf. Die derartigen Oberflächen besitzen eine sehr geringe Oberflächenspannung[1]. Somit können die aufgesetzten Wassertropfen aufgrund eines Randwinkels von mehr als 90° leicht von den Oberflächen abrollen. Darüber hinaus beruht die vielversprechende Superhydrophobieeigenschaft darauf, dass sich die Oberflächen-Hydrophobierung mit der Nanostrukturierung kombiniert und zu einem selbstreinigenden Effekt führt. Daher kann das Entstehen von Fremdschichten unter Berücksichtigung der Umwelteinflüsse deutlich vermindert

werden. Demzufolge lässt sich ein verbessertes Überslagverhalten erwarten.

Experimentelle Untersuchungen

Verwendet werden zylindrische Modellprüfkörper, die im quasihomogenen elektrischen Feld mit Wechselspannung beansprucht werden. Um die kritischen Umweltbedingungen nachbilden zu können, wird künstlicher Nebel mit verschiedenen Volumenleitfähigkeiten im Prüfgesäß erzeugt. Ein Funktionsgenerator dient als regulierbare Spannungsquelle im Prüfkreis. Die Ausgangsspannung kann über einen Prüftransformator bis auf maximal 60kV erhöht werden. Ein Rechner übernimmt die Aufgabe, Ableitstrom, Prüfwechselspannung und dazugehörigen Phasenwinkel kontinuierlich zu erfassen. Des Weiteren werden die Messergebnisse entsprechend der Randbedingungen gesammelt und bewertet.

Ergebnisse

Die Randwinkelmessungen haben bestätigt, dass die hergestellten superhydrophoben Oberflächen eine sehr ge-

ringe Benetzbarkeit erreichen können. Die Nanostruktur auf den Oberflächen wirkt dazu mit bei, abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit der Substrate (Abb.1)[2]. Die bisherigen elektrischen Untersuchungen durch Vergleich von beschichteten und unbeschichteten Prüflingen ergeben, dass die Ableitströme und die entsprechenden in den Fremdschichten umgesetzten Wirkleistungen durch die derartige Beschichtung herabgesetzt werden können. Gleichzeitig ist eine schlagartige Zunahme der Ableitströme bei den von Nanopartikeln beschichteten superhydrophoben Isoleroberflächen nicht mehr zu erkennen (Abb.2). Es liegt darin begründet, dass das Entstehen eines durchgehenden Wasserfilmes während der Nebel-Prüfung verhindert wird. Andererseits weist die Phasenwinkelmessung bei der beschichteten Oberfläche auf größere kapazitive Anteile der Ableitströme hin.

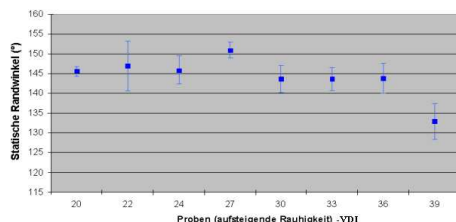


Abbildung 1: Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit auf Randwinkel

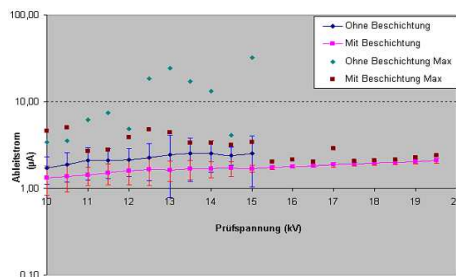


Abbildung 2: Ableitstrom zur Nebelprüfung

Ausblick

Im weiteren Vorgehen sollen Oberflächenanalysen durchgeführt werden, damit die chemische Änderung an der Isoleroberfläche detektiert werden kann. Aufgrund der in der Realität geforderten langen Lebensdauer unter Multi-Stress-Belastung, sollen derartige Nano-Beschichtungen ein stabiles und beständiges Langzeitverhalten gewährleisten. Deshalb werden modifizierte Langzeittests zum Einsatz kommen, wobei die kritischen Randbedingungen simuliert werden.

Quellen

- [1] J.M. Schwuger: *Lehrbuch der Grenzflächenchemie*, Georg-Thieme-Verlag Stuttgart-New York, 1996.
- [2] J. Wu, C. Cornelissen, A. Schnettler: *Untersuchung des Überslagverhaltens nanostrukturierter Lotus-Effect®-Isoleroberflächen*, ETG-Fachbericht 99 Grenzflächen in elektrischen Isoliersystemen, Hanau 2005.

Kontakt

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

Investigations on the Pollution Performance of Nanostructured Superhydrophobic Insulating Surfaces

The electrical pollution performance of insulating materials is substantially determined by the surface conditions of the insulations. In order to prevent the flashovers caused by contamination layers in a high voltage insulating system, it is of great significance to produce and keep a self-cleaning surface for the used insulating configurations. With new developed nanoparticles, the superhydrophobicity can be realized on insulating materials. However, the electrical investigations on such coatings need to be carried out during this study.

Introduction

For the insulating materials, which are widely applied in power transmission system, the interfaces are always critical weak points under high voltage stress. Therefore, it is much necessary to investigate the electrical behavior of components with regard to the interfaces. A methodology to overcome indoor or outdoor pollution-induced flashovers is the application of silicone rubber (SiR). It exhibits an intrinsic surface hydrophobicity apart from less weight and facility of manufacture. Its surface shows a very low surface tension[1] and thus the formed water drops roll off easily due to the contact angle, that is much larger than 90°. Furthermore, the promising superhydrophobicity is based on the surface hydrophobization, which is combined with the nanostructuring and gives rise to an effect of self-cleaning. For this reason, the occurrence of contamination layers caused by environmental influences can be evidently diminished. As a result, the flashover performance is enhanced significantly.

Experimental Tests

Cylindrical test specimens are employed in the tests. They are subject

to a quasi uniform electrical field and stressed by ac voltage. Artificial fog with different conductivities is created in the test chamber so that critical environmental conditions can be simulated. A function generator acts as a controllable power supply of the test configuration. The output voltage can be increased to maximal 60 kV by a testing transformer. A personal computer is used to record leakage current, test voltage and corresponding phase shift continuously. In addition, the measuring results are collected and evaluated according to the defined conditions.

Results

The contact angle measurements have demonstrated that the produced superhydrophobic surfaces show a much less wettability. The nanostructure of the surfaces enhances the effect, dependent of the surface conditions of the substrates (Abb.1)[2]. The previously performed electrical investigations reveal that the leakage currents and corresponding active powers, transferred along the contamination layers, can be decreased by such coatings. At the same time, a prompt increment of leakage currents cannot be found at the superhydrophobic surfaces, which are

coated with the nanoparticles (Abb.2). The reason is that the formation of continuous water films during the fog tests is almost prevented by this coating. On the other hand, the measurements of phase shift show a much capacitive leakage current along the coated surface.

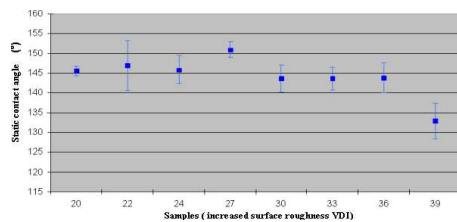


Figure 1: Impact of the surface roughness on contact angles

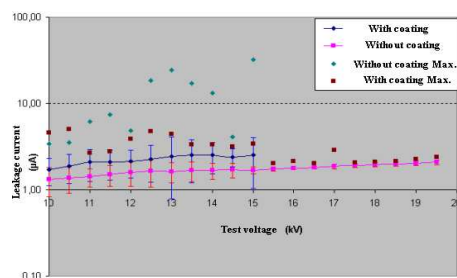


Figure 2: Leakage current in fog test

Outlook

In the further investigations the surface analyses will be conducted, so that the chemical change at the insulating

surface can be recognized. Because a long service life under multi-stresses is required in reality, such nano-coating must ensure a stable and durable long term performance. Hence, some modified long term investigations will be applied, which simulate especially the critical conditions in service.

References

- [1] J.M. Schwuger: *Lehrbuch der Grenzflächenchemie*, Georg-Thieme-Verlag Stuttgart-New York, 1996.
- [2] J. Wu, C. Cornelissen, A. Schnettler: *Untersuchung des Überslagverhaltens nanostrukturierter Lotus-Effect®-Isolieroberflächen*, ETG-Fachbericht 99 Grenzflächen in elektrischen Isoliersystemen, Hanau 2005.

Contact

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

Life-Cycle Bewertung des Einsatzes dezentraler Energiewandlungsanlagen in zukünftigen Energieversorgungsnetzen

Die Topologie aktueller Netzstrukturen ist nur bedingt zur Integration moderner Energiewandlungsanlagen wie Blockheizkraftwerken, Mikroturbinen oder Brennstoffzellen geeignet, da ihre Struktur auf die möglichst verlustarme Übertragung und Verteilung von Strom aus Großkraftwerken hin zum Kunden optimiert ist. Der erwartete verstärkte Einsatz von dezentralen Energiewandlungsanlagen in naher Zukunft kann die Netztopologien verändern sowie die Entwicklung und den Einsatz neuer Kommunikations- und Schutztechniken fördern.

Rahmenbedingungen

Bislang basierte die Energieversorgung in Deutschland im Wesentlichen auf einem Einspeise-Mix aus Großkraftwerken und einer steigenden Zahl dezentraler Einheiten (BHKW, WEA, etc.). Stand der Technik sind Windenergieparks mit Anschlussleistungen, die eine Anbindung in die Höchstspannungsebene erfordern, um sie in das deutsche Energieversorgungsnetz zu integrieren. Der zentral organisierte Betrieb der Übertragungs- und Verteilungsnetze ist die Grundlage für eine hohe Stabilität und Versorgungszuverlässigkeit.

Netzstrukturen im Wandel der Entwicklung

Die Struktur eines Verteilungsnetzes ist abstrahiert in Abb. 1 dargestellt.

In einem Kraftwerk werden Strom und Wärme zentral erzeugt. Über Nahwärme- und Stromverteilungsnetze wird die Energie daraufhin an die Endkunden weiterverteilt. Die Lasten bzw. passiven Knoten sind dabei nur eingeschränkt über Versorgungs- und Kommunikationsleitungen verbunden. Ein optimales Lastmanagement ist in

dieser Struktur nur eingeschränkt möglich.

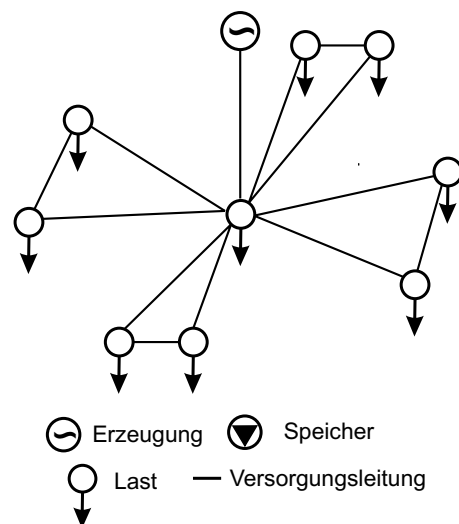


Abb. 1: Topologie eines Verteilnetzes mit passiven Knoten

In Folge einer steigenden Anzahl von dezentralen Strom- und Wärmeerzeugern wird sich diese Struktur in Zukunft verändern. In einem Energieversorgungsnetz mit passiven Knoten nach herkömmlicher Struktur mit wenigen dezentralen Erzeugern, ist ein gerichteter Leistungsfluss von der Erzeugung zum Kunden vorgegeben. Bei starkem Zuwachs an verbrauchsnahe dezentralen Kraftwerken kleinerer Leistungsklasse (< 10MW) tritt

in Schwachlastzeiten eine Umkehrung des Leistungsflusses vom Kunden in das Mittelspannungsnetz und von dort in das Hochspannungsnetz auf.

Zukünftige, dezentrale Energieversorgungsnetze können sich zum Teil deutlich von heutigen Netzstrukturen unterscheiden. Verteilungsnetze könnten aus einzelnen selbstorganisierenden aktiven Knoten bestehen, an denen Lasten, Energiespeicher aber auch dezentrale Energiewandlungsanlagen (DEA) direkt miteinander verknüpft sind. Die Stromerzeugung aus dezentralen Einheiten unterstützt hier die zentrale Strom- und Wärmeerzeugung. Die Netzstruktur ist flexibler und ein optimales Last- und Erzeugungsmangement denkbar. Eine mögliche zukünftige Darstellung ist in Abb. 2 dargestellt.

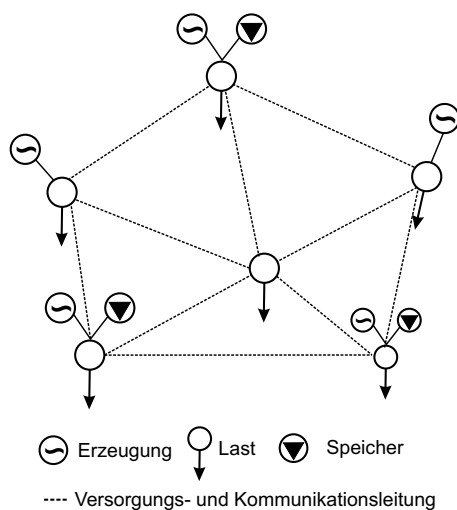


Abb. 2: Topologie eines Verteilnetzes mit aktiven Knoten

Zur Kommunikation dieser einzelnen Netzkomponenten untereinander können die vorhandenen Versorgungsleitungen, bzw. neue drahtlose Kommunikationstechniken (z.B. UMTS; WLAN etc.) genutzt werden. Basierend auf dem aktuellen und prognostizierten Erzeugungsportfolio verschiedener Energieträger, dem verfügba-

ren Netzzustand und den variablen Verbrauchsmustern könnte kontinuierlich der ideale Betriebszustand im aktiven Knoten unter Beachtung eines ökonomischen und ökologischen Optimums hergestellt werden. Die quasi-autarken Knoten bestehen dabei aus Erzeugungseinheiten, thermischen und/oder elektrischen Lasten, Energiespeichern und verfügbaren Energieformen (Kohle, Erdgas, Biogas etc.). Ein erhebliches Potenzial im Hinblick auf das Ziel einer unter den Aspekten Sicherheit, Nachhaltigkeit und Kosten optimalen Energieversorgung bietet ein kaskadiertes Energieversorgungsnetz, das aus einem überlagerten Übertragungsnetz und Verteilnetzen mit aktiv operierenden, selbstorganisierenden Knoten besteht, wie es in Abb. 3 dargestellt ist.

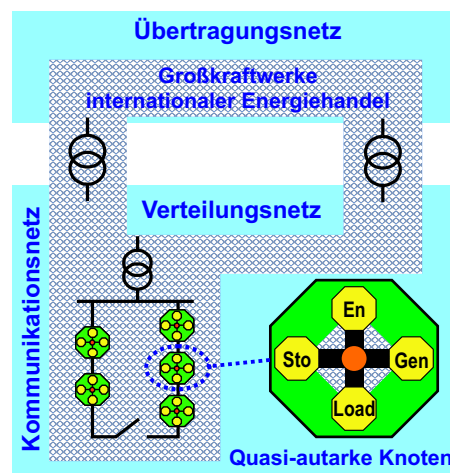


Abb. 3: Einbindung der aktiven Knoten in das übergeordnete Energieversorgungsnetz

Damit kommt langfristig dem Energieversorgungsnetz als Schnittstelle zwischen variierenden Erzeugungsstrukturen und Energieverbrauchern eine stärker koordinierende Aufgabe zu.

Life-Cycle Bewertung des Einsatzes von dezentralen Energiewandlungsanlagen in Verteilungsnetzen

Es wird postuliert, dass eine erhöhte Integration von DEA ökologisch-wirtschaftliche Vorteile mit sich bringen, wobei eine gleichartige Versorgungszuverlässigkeit dieser Anlagen im Netzbetrieb vorausgesetzt wird. Bei DEA muss unterschieden werden zwischen Energiewandlungsanlagen, die erneuerbare Energiequellen (Wind, Sonne, Biomasse etc.) nutzen und Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, die aus fossilen Ressourcen (Öl, Erdgas etc.) oder aber auch Biomasse gespeist werden können. Jede Technologie besitzt ihre eigenen ökologischen und ökonomischen Kennwerte. Ob eine erhöhte Dezentralisierung der Energiewandlung auch wirklich zu verringerten CO₂-Emissionen, minimierten Strom-Wärme-Verlusten im Netzbetrieb sowie zu minimierten Kosten der Energiewandlung führt, kann bislang noch nicht endgültig beantwortet werden. Hierzu ist es zwingend notwendig, die verschiedenen Technologien im praktischen Einsatz in dezentralen Verteilungsnetzen auf Ihre Ökoeffizienz hin zu überprüfen. Erst dann wird es möglich sein, mögliche Vor- als auch Nachteile der dezentralen Energieversorgung in zukünftigen Verteilnetzen bewerten zu können. Forschungsergebnisse am IFHT haben bereits gezeigt [1,2], dass dezentrale Strom- und Wärmeerzeugungsanlagen durchaus einen signifikanten Beitrag auf die Ökoeffizienz von Verteilnetzen haben können. Hierzu sind weitere Untersuchungen notwendig, die aktuell am Institut durchgeführt werden. Zur Bewertung dieses Beitrags wird aktuell in der Forschungsgrup-

pe eine neue Methodik zur Bewertung von dezentralen Verteilungsnetzen entwickelt. Verteilungsnetze werden dabei unter Berücksichtigung ökologischer, ökonomischer und technischer Parameter bewertet und optimiert, wie in Abb. 4 dargestellt.

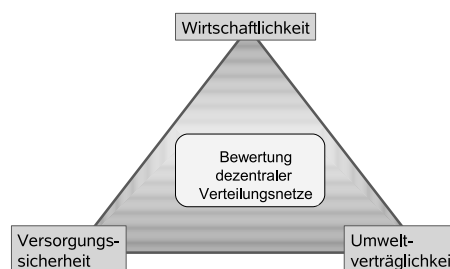


Abb. 4: Methodenansatz der Netzbewertung am IFHT

Quellen

- [1] U. Macharey, M. Schwan, A. Schnettler, T. Smolka *Einsatz dezentraler Stromerzeugungstechniken in elektrischen Verteilungsnetzen unter ökologischen Rahmenbedingungen*, Berlin, VDE Kongress, 2004
- [2] U. Macharey, A. Schnettler, T. Smolka *Ökobilanzuntersuchung eines elektrischen Verteilungsnetzes mit dezentraler Einspeisung*, 1. Ökobilanzwerkstatt, Bad Urach, 2005

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 Analysis of Distributed Generation Applications in future Power Grids

As today's grid structure is optimized for transmission and distribution based on the energy supply from large scale power plants, modern distributed generation (DG) systems like CHP facilities or fuelcells cannot be integrated easily in the existing grid structure. The expected growing share of DG will lead to changing grid structures in near future as well as it will support the development of new communication and protection technology.

Prerequisites

Today the energy supply is mainly based on a mix generated in large scale power plants supported by a growing share of DG (CHP, small Wind Power Plant, Fuelcells, etc.). Additionally, wind parks with a load which demands the integration to the high voltage grid are integrated in the German energy supply system. The central organized operation of transmission and distribution system leads to stability and supply guarantee.

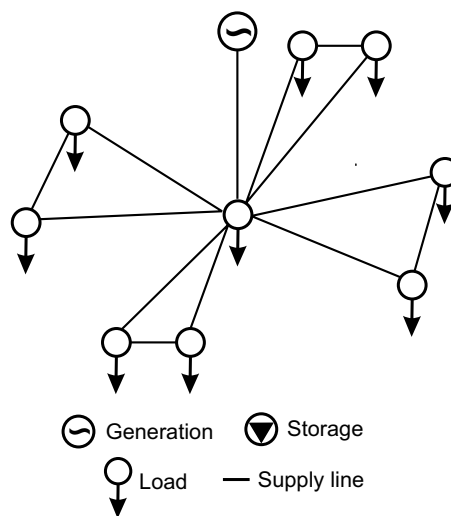


Fig. 1: Topology of a distribution network with passive nodes

Grid topologies under consideration of technical demands

The topology of a usual distribution network is abstractly shown in Fig. 1. Power and heat is generated in a central power plant. These power plants feed several supply lines, which lead to passive nodes with the attached loads/customers. The nodes are usually not sufficiently interconnected with communication lines. Thus, the load management is limited with this given structure.

As a result of the growing share of DG the topology is going to change. The load flow in a common distribution network with passive nodes is directly orientated from the generation to the customer. A growing share of distributed generation facilities smaller than 10 MW lead to an inverted load flow from the customer to the higher voltage level networks in times of low load demand. An opportunity for the future structure is shown in Fig. 2.

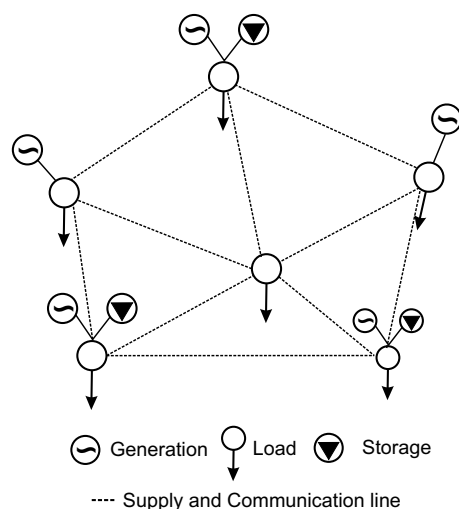


Fig. 2: Topology of a distribution network with active nodes

The distribution network exists of several directly connected active nodes, which consist of loads, storage devices as well as of DG. DG will support the central power plants in heat and power generation. The new grid structure will be much more flexible and will offer the opportunity to optimize the load flow and generation management. As these components have to communicate with each other, new supply and communication lines have to be installed as a matter of fact. Based on the existing and prognosed generation portfolio with different energy carriers, the given network status and the variable consumption pattern, the active nodes provide optimal economical and ecological conditions continuously. In doing so, the quasi-autarchic nodes contain generation units as well as thermal and/or electric loads, energy storage devices of different energy provision (coal, natural gas, biomass, etc.) A considerable potential for an optimal power supply regarding stability, sustainability and economical aspects, is given by cascaded power grids. These consist of a superposed transmission network for the integra-

tion into a transnational system and of a distribution network with actively operating nodes as shown in Fig. 3.

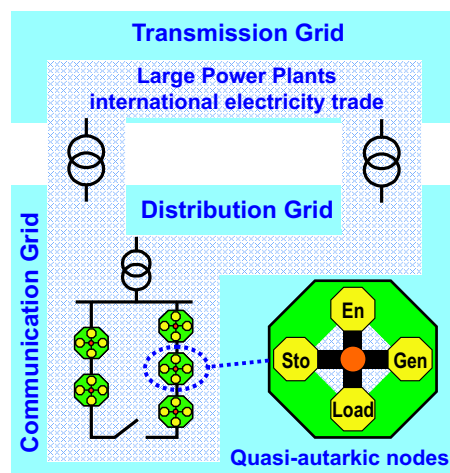


Fig. 3: Integration of active nodes into the superposed power supply system

In a long term view, the distribution grid will have a rather coordinating role as an interface between variable generation structures and consumers. The optimization criteria for the assessment of actively operating grids are analyzed at the institute and will be integrated into a methodology to provide a ecoefficiently operating power system. Considering systematically oriented concepts and operation of these power grids, the realisation of an socioeconomical power supply seems to be possible.

Life Cycle Analysis of Distributed Generation Applications in Power Grids

It is postulated that an increased integration of DG implicate ecological-economical benefits assuming the same supply reliability in network operation. DG have to be differed in generation units using renewable energy resources (wind, solar e.g.) and combined heat and power systems (CHP)

using fossil fuels (oil, natural gas e.g.) and biomass. Each technology has its own ecological and economical characteristics. If increased decentralization in power generation leads to less CO₂-emissions, minimized power losses and minimized costs of power generation can not be answered today definitely. Therefore it is necessary to analyze the eco-efficiency of the different DG technologies in practical applications in decentralized networks. When this is done it will be possible to evaluate advantages and disadvantages of DG application in future power grids. Research at the IFHT has shown already [1,2], that distributed generation facilities could bring up a significant share of environmental impacts in LCA results. Further investigations are still ongoing at the institute. To assess the share more accurate at present the research group develops a method for the evaluation of future distribution networks. Distribution networks will be assessed under ecological, economical and technical aspects. A choice of adequate indicators as shown in Fig. 4 gives an overview about the grid's ecological and economical properties.

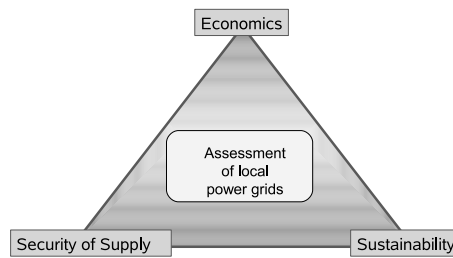


Fig. 4: Methodological approach of the assessment of distribution grids at the IFHT

References

- [1] U. Macharey, M. Schwan, A. Schnettler, T. Smolka *Einsatz dezentraler Stromerzeugungstechniken in elektrischen Verteilungsnetzen unter ökologischen Rahmenbedingungen*, Berlin, VDE Kongress, 2004
- [2] U. Macharey, A. Schnettler, T. Smolka *Ökobilanzuntersuchung eines elektrischen Verteilungsnetzes mit dezentraler Einspeisung*, Bad Urach, 1. Ökobilanzierungswerkstatt, 2005

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

Untersuchung der Kupferschienenverformung während eines dreipoligen Kurzschlusses

Im Kurzschlussfall werden die Sammelschienen in Schaltanlagen wegen der Stoßstromkräfte stark belastet. Dabei können so große Auslenkungen an den Schienen auftreten, dass aufgrund des verringerten Schienenabstandes es zu einer verringerten elektrischen Festigkeit kommt oder sogar Schäden auftreten. Daher verlangen die internationalen Prüfvorschriften, dass die Schienenauslenkungen nach einem Kurzschlussversuch in engen Grenzen bleiben. Da solche Versuche sehr teuer sind, sollen die Simulationen eine Abschätzung der Schienenverformung im elastischen und plastischen Bereich ermöglichen. Dadurch verringert sich die Anzahl der notwendigen Versuche, wodurch Prüfkosten/-zeit eingespart werden können.

Einleitung

In dieser Arbeit wurde das Simulationsprogramm ANSYS verwendet, um die Verformung der Kupferschienen im Kurzschlussfall zu simulieren. Durch die Kopplung von Magnetfeld und Strukturdynamik wurde in der Simulation die Verformung bzw. Verschiebung der Schienen aus den gewonnenen Stromkräften bestimmt. Zur Auswertung der Simulationsergebnisse wurde der Kurzschlussversuch bei drei parallelen Kupferschienen durchgeführt. Die Versuche können im Prinzip in zwei Teile unterschieden werden, und zwar Versuch im elastischen und plastischen Bereich. Die durchgeführten Simulationen entsprechend der Versuchsanordnung zeigen, dass die Kupferschienen ($10 \times 40 \text{ mm}^2$) sich bei einem Kurzschlussstrom von 10 kA_{eff} elastisch verformen, und bei einem Kurzschlussstrom von 20 kA_{eff} die Schienen dann plastisch verformt werden.

Versuchaufbau

Die drei Kupferschienen von $10 \times 40 \text{ mm}^2$ wurden parallel aufgebaut wie in Abb. 1 dargestellt. Durch eine Kurz-

schlussbrücke erfolgt der dreipolige Kurzschluss.

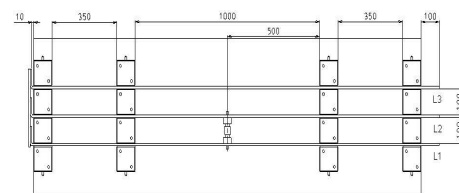


Abb. 1: Versuchsanordnung

Die Schienen wurden mit Kunststoffklötzen aus PA6 (Polyamid 6) horizontal mit Gewindestangen verspannt und die Kunststoffklötze kürzeren Gewindestangen auf einer Kunststoffplatte festgeschraubt. Alle Gewindestangen wurden durch Kunststoffhülsen von den Schienen isoliert. Ein Piezosensor wurde zur Messung der mechanischen Kräfte auf die Schienen L1 und L2 verwendet. Mit Hilfe einer Highspeed-Kamera können die Verformungen der Schienen online aufgenommen werden. Die Messung der transienten Magnetfelder entlang der Schienen erfolgt durch Rogowski-Spulen.

Simulation und Auswertung im elastischen Bereich

Der Kurzschlussstrom von 10 kA_{eff} wurde in der Simulation eingegeben. Für die Bestimmung der Verformung im elastischen Bereich ist der E-Modul erforderlich. Der E-Modul von Kupfer beträgt etwa 113.000 N/mm^2 . Zahlreiche Simulationen ergaben, dass die modellierte Geometrie und Kurzschlussstromverläufe bzw. der Eintrittswinkel [1] einen großen Einfluss auf die ausgerechneten Verschiebungen haben. Um genauere Resultate zu erhalten, sind die Simulationen mit der realen Geometrie und der gemessenen Kurzschlussströmen durchgeführt worden. Abb. 2 zeigt im Vergleich die Schienenauslenkungen des Experiments und der Simulation.

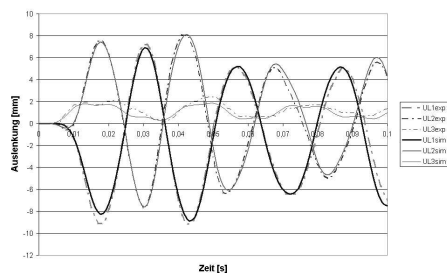


Abb. 2: Vergleich der Schienenauslenkungen (elastisch)

Simulation und Auswertung im plastischen Bereich

In diesem Fall wurde der Kurzschlussstrom von 20 kA_{eff} in der Simulation eingegeben. Für die Bestimmung der Verformung im plastischen Bereich wird das Spannungs-Dehnungsdiagramm benötigt. Grundsätzlich gibt es zwei Modelle für die plastische Verformungsberechnung des Metalls, und zwar isotrope und kinematische Verfestigung, wobei in diesem Fall die plastische Verformung

des Kupfers durch die bilineare kinematische Verfestigung (BKIN) berechnet wurde. Dadurch wird der Bauschingereffekt [2] (Streckgrenze ist bei Belastung in Gegenrichtung niedriger als während der vorherigen Belastung) eingeschlossen. Es zeigte sich, dass die Fließspannung des Kupfers einen großen Einfluss auf berechnete Resultate hat, wobei die Fließspannung von Kupfer mit der Härte des Metalls variieren kann. Deshalb sollte die Fließspannung des Kupfers in Abhängigkeit seiner Härte eingegeben werden. Abb. 3 zeigt den Vergleich der Schienenauslenkungen zwischen Experiment und Simulation.

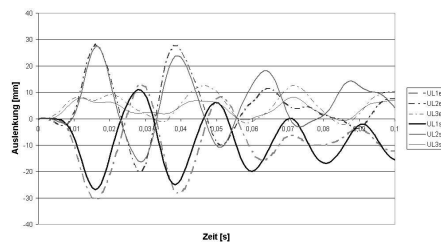


Abb. 3: Vergleich der Schienenauslenkungen (elastisch+plastisch)

Quellen

- [1] D. Tsanakas, *Beitrag zur Berechnung der elektromagnetischen Kurzschlusskräfte und der dynamischen Beanspruchung von Schaltanlagen*, Dissertation TU Darmstadt, 1976
- [2] H. Göldner, *Lehrbuch Höhere Festigkeitlehre Band 2*, Leibzig-Köln Verlag, 3.Auflage 1992

Kontakt

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

Investigation of copper busbar deformation during three-phase short-circuit

In case of short-circuit, busbars in switchgear are highly stressed due to impulse current forces. Thus, large deflections at busbars, leading to mechanical damages or lower electric field strength through shorter distance between busbars, can occur. Therefore, according to requirements given by international standards, large deflections should not occur during short-circuit tests. Since the tests are very expensive, simulations should serve to estimate a busbar deformation both for elastic and plastic region in order to reduce the number of laboratory tests.

Introduction

In this work, the simulation program ANSYS is applied to simulate the deformation of copper busbars during short-circuit tests. By means of coupled simulation between electromagnetics and structural dynamics, the deformation or displacement of busbars are ultimately resulted from calculated current forces. To verify the simulation results, short-circuit tests using three parallel copper busbars have been carried out. In principle, the tests can be divided into two parts, which are the test in elastic and plastic region. The simulations corresponding to the test layout showed that copper busbars ($10 \times 40 \text{ mm}^2$) are elastically deformed by 10 kA_{eff} short-circuit current, and with 20 kA_{eff} short-circuit current, busbars will be deflected into plastic region.

Experiment set-up

Three $10 \times 40 \text{ mm}^2$ copper busbars were built up in parallel as shown in Fig. 1. Three-phase short-circuit is ensured by a short-circuit busbar, which connects busbar L1, L2, and L3.

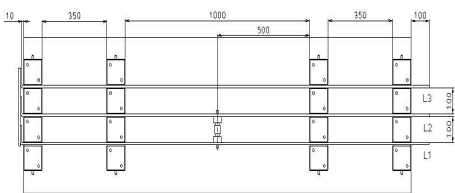


Fig. 1: Test layout

Busbars were horizontally tightened with plastic blocks made of PA6 (Polyamide 6) by using threaded rods. The plastic blocks were screwed on a plastic plate by shorter threaded rods. All threaded rods were insulated from busbars by plastic shucks. A piezosensor was used to measure the mechanical forces from busbars L1 and L2. By using a high-speed camera, the deformations of busbars can be evaluated online. The measurement of transient magnetic fields along the busbars is achieved by Rogowski coils.

Simulation and evaluation in the elastic region

The 10 kA_{eff} short-circuit current was given in the simulation. To determine the deformation in elastic region, Young's modulus is required. The Young's modulus of copper is roughly $113,000 \text{ N/mm}^2$. Numerous simulations showed that the model geometry and short-circuit current characteristics (angle when the

short-circuit occurs) [1] have a significant influence on calculated displacements. In order to get more accurate results, simulations with real geometry and measured short-circuit currents were carried out. Fig. 2 shows the comparison of busbar deflections between the experiment and simulation.

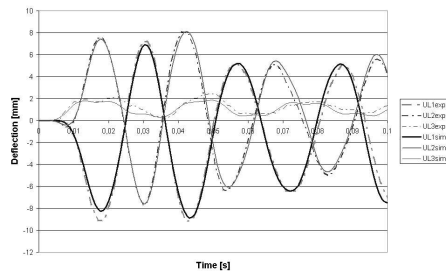


Fig. 2: Comparison of busbar deflections (elastic)

Simulation and evaluation in the plastic region

In this case, the 20 kA_{eff} short-circuit current was applied in the simulation. For the determination of the plastic deformation in plastic region, the stress-strain diagram has to be used. Basically, there are two models for calculating plastic deformation of metal, which are isotropic and kinematic hardening. However, in this case, the plastic deformation of copper was calculated by Bilinear Kinematic Hardening (BKIN). With this model, the Bauschinger effect [2] (by loading in opposite direction, the yield stress is explicitly lower than that of previous loading) is also included. It has been found out that the yield stress of copper has a great influence on calculated results. It means

that the concrete yield stress for copper is required in the simulation. However, the yield stress of copper can be varied with the hardness. Therefore, the yield stress of copper according to its hardness should be applied in the simulation in order to get more accurate results. Fig. 3 shows the comparison of deflections between the experiment and simulation.

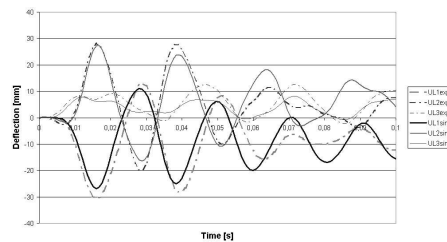


Fig. 3: Comparison of busbar deflections (elastic+plastic)

References

- [1] D. Tsanakas, *Beitrag zur Berechnung der elektromagnetischen Kurzschlusskräfte und der dynamischen Beanspruchung von Schaltanlagen*, Dissertation TU Darmstadt, 1976
- [2] H. Göldner, *Lehrbuch Höhere Festigkeitlehre Band 2*, Leibzig-Köln Verlag, 3.Auflage 1992

Contact

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

Untersuchung von Störlichtbogenenergieabsorbern

Obwohl Störlichtbögen ein seltenes Ereignis sind, bergen Sie eine erhebliche Gefahr für elektrische Betriebsmittel, Anlagengebäude und Bedienungspersonal. Fehlerlichtbögen führen zu einer extremen Erhitzung der unmittelbaren Lichtbogenumgebung. Hierdurch ergibt sich eine thermische und mechanische Belastung sowohl für die vom Fehler betroffene Schaltzelle als auch für den Entlastungsraum, also für das Volumen, in das die durch den Störlichtbogen entstehenden Heißgase abgeleitet werden.

Störlichtbogenenergieabsorber können, z. B. in Verbindung mit Druckentlastungskanälen, dazu beitragen, die Auswirkung von Fehlereignissen zu reduzieren.

Störlichtbögen in elektrischen Anlagen

Die Entstehung von Störlichtbögen (inneren Fehlern) kann u. a. auf folgende Ursachen zurückgeführt werden:

- Überspannungen im Netz;
- Isolationsfehler;
- Fehlfunktionen von Anlagenkomponenten oder
- Fehler des Bedienungs- und Wartungspersonals.

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

Üblicherweise werden zur Begrenzung des Überdrucks im Störlichtbogenfall Druckentlastungseinrichtungen installiert. Beim Ansprechen von Druckentlastungsöffnungen entweicht Heißgas aus der Anlage. Eine Möglichkeit der Überdruckminderung ist der Einsatz von Lichtbogenenergieabsorbern. Hierbei handelt es sich um Kühlelemente, die im allgemeinen aus Streckmetallgittern bestehen. Der Gasstrom wird durch eine Anordnung von Kühlgittern geführt. Der Energieentzug erfolgt auf Grund der Wärmeleitung zwischen Heißgas und Metalloberfläche. Kühlgitter kommen u. a. auch in Entlastungskanälen zum Einsatz, welche z. B. auf Schaltanlagen installiert werden, um die im Fehlerfall entstehenden Heißgase abzuleiten.

Störlichtbogenenergieabsorber

Störlichtbogenenergieabsorber nehmen Energie vom Heißgas über Wärmeleitung auf und fungieren zusätzlich noch als Strömungswiderstände. Wird ein Kühlgitter in eine als Druckentlastung vorgesehene Öffnung eingesetzt, reduziert sich der effektive Strömungsquerschnitt. Beim Einsatz von Kühlgittern ist im Fehlerfall der im Lichtbogenraum entstehende Überdruck höher, weil die Heißgasmasse durch die

Forschungsgebiet: Störlichtbögen

reduzierte Öffnung nicht so schnell abströmen kann. Der Entlastungsraum hingegen erfährt durch den Energietzug über das Kühlgitter eine niedrigere Druckbelastung. Die Konstruktion und Dimensionierung von druckfesten Schaltzellen ist aber im Vergleich zu druckfesten Gebäuden in vielen Fällen (besonders bei bestehenden Gebäuden) kostengünstiger.

Zur experimentellen Bestimmung der Wirksamkeit von Lichtbogenenergieabsorbern wird ein Reihenschwingkreis mit einer Kondensatorbatterie ($C_{ges} = 0,3 \text{ F}$, $U_N = 1000 \text{ V}$, $W_{ges} = 153,75 \text{ kJ}$) eingesetzt. Die Lichtbogenbrennzeit beträgt ca. 100 ms. Das Versuchsgefäß besteht aus einem Vierflansch von 70,9 l Volumen, in dem sich die Elektroden befinden und einem angeschlossenen Rohr (147,1 l). Im Rohr befindet sich ein Kanal (Länge 709 mm, Querschnitt $150 \times 150 \text{ mm}^2$) aus Teflon mit Nuten zur Aufnahme von Kühlgittern (Abb. 1).

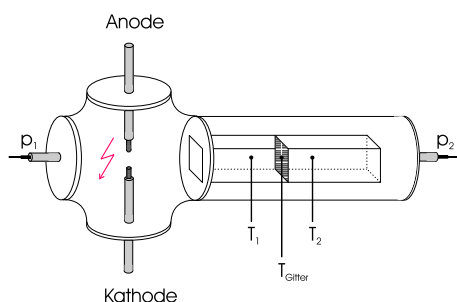


Abb. 1: Prüfgefäß

Im Kanal erfolgt keine Wärmeleitung zum Gefäß, so dass die Temperaturerhöhung der eingesetzten Gitter (ΔT_{Gitter}) gemessen werden kann. Über die Beziehung

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

wird die vom Kühlgitter aufgenommene Energie bestimmt. Der Energieentzug ist maßgeblich von dem vorliegen-

dem Temperaturunterschied zwischen Heißgas und Gitter abhängig. Die gemessenen Gastemperaturen (T_1 , T_2) streuen auf Grund der Lichtbogenbewegung stark. Eine Abkühlung des Gases durch das Gitter ist aber qualitativ nachweisbar. Über die Druckmessung vor und hinter dem Gitter kann auf die Energieabsorption geschlossen werden. Die Wirksamkeit wird durch Vergleich mit Messungen ohne eingesetztes Gitter im Kanal ermittelt (Abb. 2).

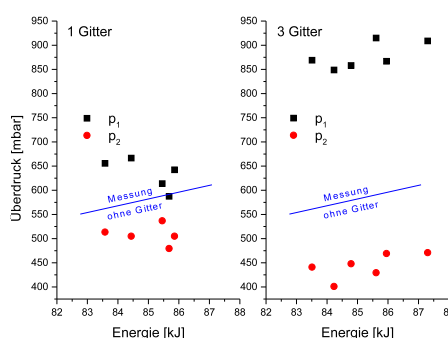


Abb. 2: Vergleich der kumulativen Wirkung von Kühlgittern

Durch Erhöhung der Anzahl von Gitterelementen (eines gleichen Typs) steigt die Wirksamkeit des Absorbers. Die Druckerhöhung im Lichtbogenraum (p_1) und die entsprechende Entlastung am Rohrende (p_2) sind deutlich zu erkennen. Mit der Gleichung

$$\Delta p = \frac{(\kappa - 1) \cdot (k_p \cdot W_{LB} - \Delta W_{Gitter})}{V_{Gefäß}}$$

kann die Druckreduktion beschrieben werden, wobei κ der Adiabatenkoeffizient des Isoliergases ist und k_p der Anteil der elektrischen Energie, der eine Druckerhöhung bewirkt.

Kontakt

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

Investigations on Fault Arc Energy Absorbers

Although the occurrence of fault arcs is rare, they entail serious danger for electrical equipment, substation buildings and operational staff. Fault arcs lead to an extreme heating of their direct surroundings: Hereby thermal and mechanical stresses are exerted to the switchgear compartment affected by the fault as well as to the pressure relief room, in which the heated gas is drained off. Fault arc absorbers can, e. g. in conjunction with ducts, lead to a reduction of the effects of internal failures.

Fault Arcs in Electrical Installations

The occurrence of fault arcs (internal faults) can be ascribed amongst other things to following causes:

- overvoltage;
- insulation failure;
- malfunction of installation components or
- human errors of operating- and maintenance personal.

The electric power, which is dissipated by the fault arc in power transmission and distribution networks, is in the order of some ten MW. During fault arc duration the loss energy of the arc is released to the arc's surroundings by several interaction mechanisms. Direct effects are 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. To protect people, minimisation of damage and securing power supply these effects have to be controlled.

Pressure release devices are installed to limit overpressure due to fault arcs. By activation of the pressure relief openings, hot gas flows out of the installation. One option to prevent overpressure is the use of arc energy ab-

sorbers. These are cooling components, which in general consist of expanded metal grids. The hot gas flow is directed through an arrangement of cooling grids. Heat energy is transferred by thermal conduction between hot gas and metal surface. Among other things cooling grids are used in pressure release ducts, e. g. which are often installed on switchgears.

Fault Arc Energy Absorber

Fault arc energy absorbers extract energy from the hot gas by thermal conduction; additionally cooling grids serve as flow resistances too. The effective gas flow cross section is reduced by the metal surface of the grid. In case of an internal fault the use of cooling grids will generate an overpressure in the arcing room, since the hot gas mass flows slower through the reduced duct cross section. On the other hand the pressure relief room faces a lower pressure stress due to the energy transfer towards to the cooling grid. Since the construction and dimensioning of pressure-resistant switchgear compartments is (in comparison to pressure-resistant buildings) comparatively cheap, especially for existing buildings, the use of fault arc absorbers offers attractive cost saving potentials for retrofit and as the case may be upgrading projects.

For the experimental evaluation of the efficiency of fault arc energy absorbers a series resonant circuit with a capacitor bank ($C_{total} = 0.3 \text{ F}$, $U_N = 1000 \text{ V}$, $W_{total} = 153.75 \text{ kJ}$) is used. The arc duration averages 100 ms. The test vessel consists of an arcing room of 70.9 l in volume, in which the electrodes are located as well as an attached duct (147.1 l). Within the duct a channel made of PTFE (length 709 mm, cross section $150 \times 150 \text{ mm}^2$) with notches for mounting cooling grids is embedded (Fig. 1).

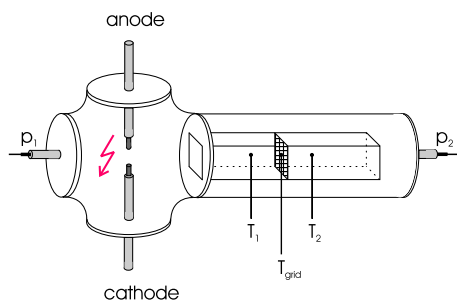


Fig. 1: Test vessel

Due to this arrangement no thermal energy transfer to the test vessel will take place, so that the temperature rise of the inserted grids (ΔT_{grid}) can be measured. By using 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 energy extraction is decisive dependent on the temperature difference between the hot gas and the grid. The temperature measurement of the hot gas mass (T_1 , T_2) is subjected to heavy variation because of the inordinate gas flow due to fault arc motion. However a gas cooling effect can be qualitative verified.

The effect of energy absorption on the overpressure rise can be determined by a pressure measurement in front of and behind the grid. The efficiency is determined through a comparison to measurements without mounted grids in the channel (Fig. 2).

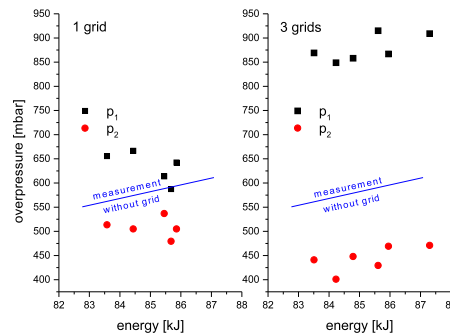


Fig. 2: Comparison of the cumulative effect of cooling grids

By increasing the number of grid elements (of the same type) the efficiency of the absorber increases too. The overpressure in the fault arc room (p_1) and the diminution of the overpressure at the duct end (p_2) are obvious. By using the equation

$$\Delta p = \frac{(\kappa - 1) \cdot (k_p \cdot W_{arc} - \Delta W_{grid})}{V_{vessel}}$$

the overpressure reduction can be verified, whereas κ is the adiabatic coefficient of the insulating gas and k_p the amount of electric energy, which leads to overpressure.

Contact

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

Asset-Management in Verteilnetzen - Einfluss der Komponentenzuverlässigkeit und Bewertung der Kosten

Im Zuge der Liberalisierung der Energiemärkte ist der Einsatz umfassender Verfahren zum Asset-Management für den wirtschaftlichen Betrieb elektrischer Versorgungsnetze unerlässlich geworden. Obwohl die erfolgreiche Anwendung solcher Verfahren Kenntnisse über den Zustand der im Netz vorhandenen Komponenten voraussetzt, existieren auf einer belastbaren Datenbasis beruhende Modelle zur Zustandsbewertung in der Verteilnetzebene nur in seltenen Fällen. Die Entwicklung einer neuartigen Schadenstatistik und deren systematische Auswertung ermöglichen die Ableitung und Parametrierung der erforderlichen Modelle zur Bewertung der Komponentenzuverlässigkeit und der durch Komponentenschäden verursachten Kosten. Der vorliegende Beitrag präsentiert einige Ergebnisse einer exemplarischen Anwendung der neu gewonnenen Modellierungsmöglichkeiten.

Asset-Management in Verteilungsnetzen

Das Ziel des Asset-Managements ist es, die Gesamtkosten des Netzbetriebes zu minimieren und gleichzeitig eine angemessene Versorgungsqualität zu gewährleisten [1]. Von elementarer Bedeutung ist dabei die Optimierung der angewandten Instandhaltungs- und Erneuerungsstrategien.

Die erfolgreiche Anwendung des Asset-Managements basiert auf Kenntnissen über den Zustand der Komponenten im Netz. Aufgrund der hohen Zahl der installierten Betriebsmittel in Verteilungsnetzen ist eine individuelle Zustandsüberwachung der Komponenten, wie sie teilweise in Transportnetzen praktiziert wird, nicht möglich. Das Asset-Management von Verteilnetzen muss daher auf statistischer Basis arbeiten, wobei die erforderlichen Informationen durch Auswertung betrieblicher Schäden gewonnen werden können. Darauf basierend wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes eine spezielle Schadenstatistik erstellt, die Angaben zur Beschreibung der Komponentenzuverlässigkeit in Ab-

hängigkeit des Betriebsalters und der praktizierten Instandhaltung sowie zu den durch Komponentenschäden verursachten Kosten liefern soll [2]. Im Folgenden werden dazu einige Ergebnisse von Zuverlässigkeitsberechnungen, die den Einfluss des Zustandes der Komponenten auf die Versorgungszuverlässigkeit eines Netzes widerspiegeln, sowie zur Bewertung der resultierenden Kosten vorgestellt.

Zuverlässigkeitsberechnungen und Kostenbewertung

Die entwickelte Schadenstatistik fungiert als Basis für eine Prognose des Störungs- und Schadensgeschehens der Komponenten anhand zeitabhängiger Zuverlässigkeitskennzahlen, welche als Eingangsdaten der Zuverlässigkeitsberechnungen dienen. In Abb. 1 sind beispielhaft die in Abhängigkeit des Komponentenalters ermittelten Schadenraten für Freileitungen und verschiedene Kabeltypen enthalten. Die untersuchten Leitungen weisen dabei bis auf Papiermasse-Kabel eine deutliche Altersabhängigkeit auf.

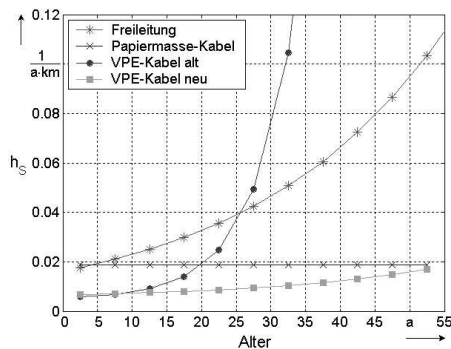


Abb. 1: Altersabhängige Schadenrate für verschiedene MS-Leitungen

Das gewählte Anwendungsbeispiel berücksichtigt neben der Altersabhängigkeit der Komponentenzuverlässigkeit auch den Einfluss der praktizierten Instandhaltung. Die Berechnungen basieren dazu auf einem Modellnetz mit realer Altersstruktur der Komponenten und der Annahme, dass ab dem zweiten Prognoseintervall die Instandhaltung ausgesetzt wird. Die sich daraus ergebende kundenbezogene Nichtverfügbarkeit sowie die aus den Schäden mit und ohne Störung und aus der Instandhaltung resultierenden jährlichen Kosten zeigen Abb. 2 und Abb. 3.

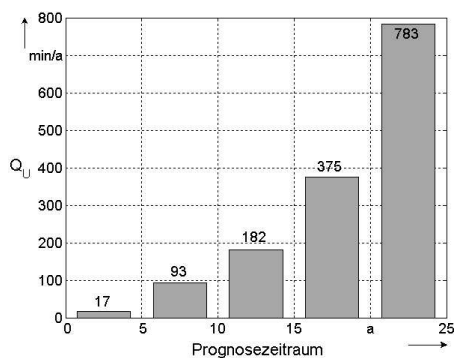


Abb. 2: Nichtverfügbarkeit der Kunden bei ausgesetzter Instandhaltung (Mittelwerte; worst-case Szenario)

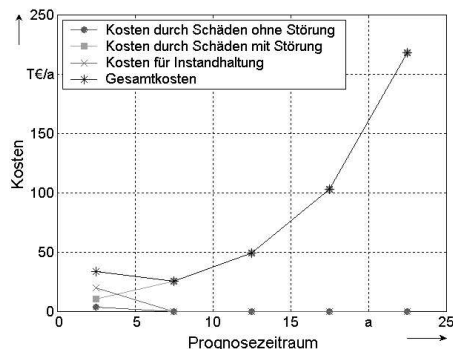


Abb. 3: Kosten pro Jahr bei ausgesetzter Instandhaltung

Die erzielten Ergebnisse belegen, dass die Bewertung der Instandhaltungs- und Erneuerungsstrategien sowohl Kosten- als auch Zuverlässigkeitsaspekte berücksichtigen muss.

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
- [2] U. Zickler, M. Schwan, K.-H. Weck, A. Schnettler, *Schadensstatistik zur Präzisierung des Asset-Managements in Verteilungsnetzen*, VDE-Kongress 2004 Berlin, S. 647-652

Kontakt

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

Asset Management in Distribution Systems - Impact of Component Reliability and Cost Evaluation

In the course of the liberalisation of energy markets the use of comprehensive asset management methods has become indispensable for the efficient operation of power systems. Although the successful application of these methods assumes knowledge on the condition of components installed in the network, models for condition estimation relying on a well-founded data base are hardly available for the distribution level so far. Here, the development of a damage statistic and its systematic evaluation shall enable us to derive and parameterise the required models to assess the component reliability and the costs caused by component damages. This short report shows some results of an exemplary application of the newly gained simulation models.

Asset Management in Distribution Systems

Main aim of asset management is the minimisation of the total costs of network operation while maintaining an appropriate reliability of supply [1]. The considered costs have to be distinguished into deterministic and stochastic parts. While deterministic costs can be calculated by the practised strategies for maintenance and replacement as well as by other fixed costs, the stochastic costs depend on the occurrence of disturbances and damages of the components in the network. Therefore the optimisation of the applied strategies for maintenance and reinvestment is of essential importance for both elements of costs.

The successful application of an asset management is based on knowledge on the condition of the components of the network. Due to the high number of installed equipment in distribution systems an individual condition monitoring, like partially practised in transmission systems, is not possible. Furthermore a condition estimation of the components using diagnostics would be time-consuming and very

costly. Therefore the asset management of distribution networks has to use statistical methods, whereas the required information can be obtained by the acquisition and analysis of operational damage events. Due to these facts, within the scope of a research project a special damage statistic was created providing data to assess component reliability depending on operating age and maintenance history as well as to the costs caused by component damages [2]. In the following some results of reliability calculations reflecting the impact of the condition of the components on supply reliability of the network are presented.

Reliability Calculation and Cost Evaluation

The new developed damage statistic shall enable the prognosis of disturbances and damage events of components by means of time related reliability data providing input data of the reliability calculation. Fig. 1 includes exemplarily the determined damage rates of overhead lines and several cable types in dependence on the component age. The investigated lines show - ex-

cept of paper-insulated cables - a significant influence of ageing.

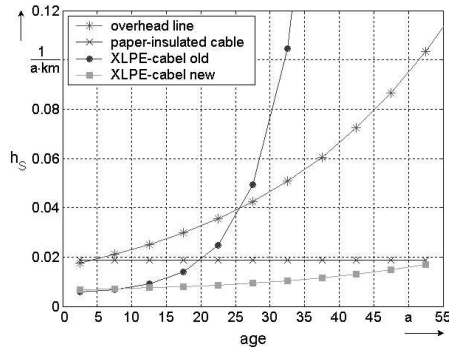


Fig. 1: Age related damage rate of different MV lines

The chosen example of application considers the dependence on age as well as the influence of applied maintenance on component reliability. The calculations are based on a model network with a real age structure of the components. Furthermore it was assumed that the maintenance activities were suspended from the second prognosis interval. The achieved customer related unavailability and the yearly costs resulting from maintenance and from damages with and without disturbance are given in Fig. 2 and Fig. 3.

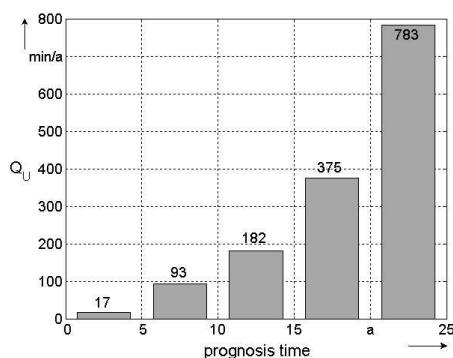


Fig. 2: Unavailability of customers at suspended maintenance (mean values; worst-case scenario)

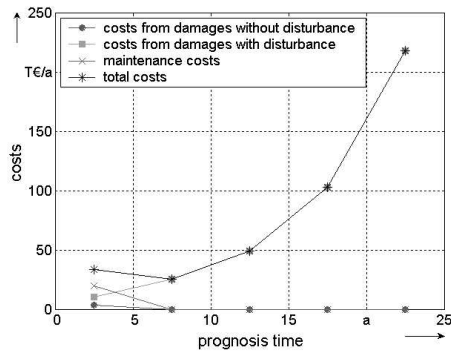


Fig. 3: Costs per year at suspended maintenance

The gained results demonstrate that the optimisation of the strategies for maintenance and replacement has to consider both, costs as well as reliability aspects.

References

- [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
- [2] U. Zickler, M. Schwan, K.-H. Weck, A. Schnettler, *Schadensstatistik zur Präzisierung des Asset-Managements in Verteilungsnetzen*, VDE-Kongress 2004 Berlin, S. 647-652

Contact

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

Diplom-, Master- und Studienarbeiten

Diplomarbeiten

Federlein, Stefan

Ökologisch-ökonomische Bewertung verschiedener Konzepte für die Leistungsübertragung von Offshore-Windparks in Ballungsgebiete

Inhalt dieser Diplomarbeit ist die Gewinnung neuer Erkenntnisse zur öko-effizienten Nutzung der Windenergie auf See. Hier bedeutet Ökoeffizienz, die Einhaltung optimaler ökologisch-ökonomischer Rahmenbedingungen unter Berücksichtigung der technischen Realisierbarkeit. Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf der Analyse verschiedener Wasserstoff- Szenarien. Verschiedene Möglichkeiten der Wasserstoffherzeugung aus Windenergie in Offshore-Windparks werden analysiert und in Szenarien umgesetzt. Die definierten Wasserstoff-Szenarien wurden anschließend unter öko-effizienten Kriterien gegenüber gestellt.

Krings, Holger Josef Benedikt

Aufbau und Bewertung von Szenarien zur Netzintegration von dezentralen Energiewandlungseinheiten

Die Netzintegration dezentraler Energiewandlungsanlagen (DEA) unter den Gesichtspunkten der technischen wie auch ökologischen Auswirkungen wurde in dieser Arbeit untersucht. Die Entwicklung in der Energieversorgung wurde dazu an Hand aktueller Prognosen erörtert. Hierzu wurden Lastflussberechnungen angestellt und die Veränderungen zwischen den Referenznetzen und modifizierten Netzen analysiert. Die Modifikationen der

Referenznetze sollen durch den Einsatz von unterschiedlichen DEA-Typen statt finden. Vor- und Nachteile der Netzintegration wurden in Szenarioanalysen analysiert.

Schuchardt, Marcus

Untersuchungen zur räumlich verteilten synchronen Messung von Teilentladungsimpulsen an einer Crossbonding-Kabelanlage unter Verwendung eines neuartigen digitalen Mehrstellen-TE-Messsystems

Die Arbeit befasst sich mit der Frage, inwiefern an Crossbonding-Kabelanlagen durch eine räumlich verteilte synchrone Mehrstellen-Teilentladungsmessung ein Informationsgewinn zu erreichen ist. Die Untersuchungen werden weitgehend an einem Modell einer Crossbonding-Kabelanlage durchgeführt, welches im Rahmen der Arbeit um eine neue, realen Dimensionen näher kommende Crossbonding-Box erweitert wird. Mittels eines Spektrumanalysators werden zunächst die wesentlichen Eigenschaften des Modells wie Signalausbreitung, Dämpfung und Überkopplung untersucht. Im Anschluss wird ein Mehrstellen-Teilentladungsmesssystem für die Analyse der Modellanlage vorbereitet und Messungen durchgeführt, die das gute frequenzabhängige Auflösungsvermögen dieser Prüfanordnung darlegen. In einem weiteren Schritt können einzelne Untersuchungen an realen Energiekabelsystemen durchgeführt werden, die die am Modell gewonnenen Erkenntnisse qualitativ bestätigen.

Tang, Ming-Chark

Theoretische und experimentelle Untersuchung des Einflusses von Elektrodenabbrand - Produkten auf das Schaltvermögen von SF₆-Selbstblasleistungsschalter Modellen

Das Schaltvermögen von SF₆-Selbstblasleistungsschaltern hängt vom Löschdruck, der Löschtemperatur und von der Löschgaszusammensetzung ab. Durch Elektrodenabbrand kann das Löschgas mit Wolfram/Kupfer verunreinigt werden. In experimentellen Untersuchungen wird das Schaltvermögen für verschiedene Elektrodenmaterialien bestimmt. Die Verunreinigung des Löschgases wird über CFD-Simulationen bestimmt.

Zevenbergen, Ingo

Untersuchungen zur Netzintegration und ökologischen Systemanalyse von Geothermiekraftwerken

Im Zuge des gesteigerten Bewusstseins für eine nachhaltige Energieversorgung werden regenerative Energiequellen bereits in zahlreichen Gebieten zur Deckung des Energiebedarfs eingesetzt. Die Geothermie bietet neben den bekannten Anwendungen in der Klimatechnik die Möglichkeit, durch Umwandlung der thermischen Energie über Turbinen bei der elektrischen Energieerzeugung zum Einsatz zu kommen. Dabei wird von einer weitgehend konstanten Einspeisung ins Netz ausgegangen. Im Rahmen der Diplomarbeit wurden die Umweltauswirkungen der elektrischen Energieerzeugung mittels der Geothermie und die Einspeisung dieser Energie ins Netz mit Hilfe einer Ökobilanz untersucht.

Masterarbeiten

Chiemanukulk, Tanapong:

Execution of breakdown tests of oil-paper-specimen in oil and extension of an existing test arrangement to the generation of oscillating surge voltages

The use of calculation programs makes it possible to calculate the electric stresses, which occur during test and operation of large power transformers. The assessment of these stresses concerning the dielectric strength is sometimes not so clear. The dielectric strength of the insulation arrangements inside power transformers during transient stresses is not clarified for all stresses in practice. Particularly the influence of recurrent dielectric stresses which occur during surge voltage tests between the windings onto dielectric strength are not clear.

In this Master thesis, breakdown tests with the existing arrangement shall be performed with 1, 2/50 μ s voltage shape. The existing test arrangement shall be extended with the possibility to generate and measure oscillating surge voltages in the range of 10 – 100 kHz with variable damping.

Ronald Cristhian Lopez Tafur:

Overvoltage Calculations with EMTP/EMTDC

Insulation coordination studies are necessary to calculate equipment stresses in case of overvoltages and - if necessary - to design respectively select overvoltage protection means. Transient overvoltages can be caused by switching operations or by lightning strokes. Protective measures are for example the application of surge arresters. Often, transient overvoltages are calculated using the simulation program

EMTP. The program is well known and accepted world-wide, but the program handling is quite conservative. However, EMTDC offers user friendly man-machine-interfaces and has been developed to serve for transient calculations as well.

In this master thesis it has to be shown, whether overvoltages calculations can be performed by using EMTDC. Therefore, it has to be proven, whether existing EMTP-files can be easily converted to EMTDC and of course, whether both programs gain same results.

Studienarbeiten

Fan, Zhenhua:

Entwicklung eines Versuchsaufbaus zur Ermittlung des Überslagverhaltens von Modellprüfkörpern

Goliasch, Jens:

Untersuchung der Haftfestigkeit von Materialgrenzflächen mittels Ultraschall

Golidis, Andreas:

Wirkung von Lichtbogenenergieabsorber mit unterschiedlicher Anzahl von Elementen

Kurz, Andreas:

Frequenzanalyse von Ultraschall-Impulsen zur Bewertung der Haftfestigkeit von Materialgrenzflächen

Lenzen, Bernd:

Planung und Realisierung der Erweiterung eines synthetischen Prüfkreises nach Weil-Dobke

Orth, Caroline:

Simulation des Strahlungstransports in einer zylinderförmigen Isolierstofffüße unter Verwendung des DOM-Strahlungsmodells

Reuter, Stefan

Analyse der Ökobilanzergebnisse eines Verteilnetzes auf Basis unterschiedlicher Datenbanken

Scheffer, Jan:

Digitale Filterung von Ultraschall C-Scan Daten

Schramm, Judith:

Simulation des Düsenaufbrands in SF6-Hochspannungsleistungsschaltern und dessen Auswirkung auf den Druckaufbau

Schulze, Fabian:

Untersuchungen an unterschiedlichen Aufbauten von Störlichtbogenenergieabsorbern

Wittenberg, Patrick:

Untersuchung zum Einfluss des Abstandes Störlichtbogen-Lichtbogenenergieabsorber auf die Absorber Effizienz

Wittwer, Philipp:

Bewertung der Hochfrequenz-Konditionierung von Vakuum-Schaltkammern bei unterschiedlichen Schwingkreisparametern

Veröffentlichungen / Publications

C. Cornelissen, A. Schnettler, C. Meyer, R. de Doncker, T. Scheermesser, K. Hameyer:
„PowerTAINER“ for Dispersed Electrical Power Generation
CIGRÉ 2005, Athen (GR)

P. Walter, T. Wirz, C. Cornelissen, A. Schnettler:
Zustandsbewertung innerer Grenzflächen mittels Ultraschall
In: ETG-Fachbericht 99, Beitragsband zur ETG-Fachtagung „Grenzflächen in elektrischen Isoliersystemen“, S. 247-252, Hanau 2005

R. Dommerque, M. C. Tang, M. Schwinne, C. Kahlen, A. Schnettler:
Influence of the Electrode Vapour Contamination on the Interrupting Limit of SF6 Selfblast-Circuit-Breakers. Part I: Experimental Investigations
XVIth Symposium on Physics of Switching Arc, Brno (CZ) 2005

J. Wu, C. Cornelissen, A. Schnettler:
Investigation on the flashover performance of nanostructured insulating surface with „Lotus-Effect®“ under wet conditions
14th ISH, Peking 2005

R. Dommerque, M. C. Tang, M. Schwinne, C. Kahlen, A. Schnettler:
Influence of the Electrode Vapour Contamination on the Interrupting Limit of SF6 Self-Blast Circuit Breakers. Part II: CFD-Simulations
XVIth Symposium on Physics of Switching Arc, Brno (CZ) 2005

P. Margiel, C. Lüders, M. Schwinne, A. Schnettler:
CDF-Simulations of SF6-Selfblast-Circuit-Breakers Using CFX-5
XVth Symposium on Physics of Switching Arc, Brno (CZ) 2005

A. Schnettler, H.-J. Haubrich, M. Schwan:
Investigation of Power System Security and Availability
INTELEC, International Telecommunications Energy Conference, Berlin 2005

P. Walter, T. Wirz, C. Cornelissen, A. Schnettler:
Evaluation Algorithmus for Ultrasonic Condition Assessment of Polymeric Insulation Systems
14th ISH, Peking 2005

A. Tröger, C. Cornelissen, A. Schnettler, H. Negle:
Application of Syntactic Foam as High Performance Insulating Material: Microscopic and Electric Properties
HVDC-Symposium, Delft 2005

M.-C. Tang, R. Dommerque, M. Schwinne, C. Kahlen, A. Schnettler:

Influence of the electrode vapour contamination on the Interrupting limit of SF6 self-blast circuit breakers - part III: Comparison and evaluation
XVIth Symposium on Physics of Switching Arc, Brno (CZ) 2005

C. Kahlen, R. Dommerque, M. Schwinne, M.-C. Tang, A. Schnettler:

Application of a new Measuring System for Investigations of the Interruption Behaviour of a SF6 Self-Blast Circuit Breaker Model
XVIth Symposium on Physics of Switching Arc, Brno (CZ) 2005

A. Schnettler:

Future and Ecological Friendly Power Systems - Technologies and Migration Processes
GTS 2005, Bangkok (TH) 2005

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

Ökobilanzuntersuchung eines elektrischen Verteilungsnetzes mit dezentraler Einspeisung
1. Ökobilanz-Werkstatt, Netzwerk Lebenszyklusanalyse, Bad Urach 2005

J. Wu, C. Cornelissen, A. Schnettler:

Untersuchung des Überschlagverhaltens nanostrukturierter Lotus-Effect-Isolierflächen
ETG Fachbericht 99, ETG Fachtagung „Grenzflächen in elektrischen Isoliersystemen“, Hanau 2005

A. Schnettler, V. Pitz, H. Vennegeerts:
Qualität der Netzanlagen - Basis für die Versorgungsqualität

VDN- Fachkongress Netztechnik, Kabeltagung Erfurt 2005

M. W. Sokolova, S. A. Krivov, L. Hulka, G. Pietsch:

Einfluss des Materials der dielektrischen Barriere und der anliegenden Spannung auf die Struktur der Oberflächenentladung und Ozonkonzentration (auf Russisch)

Conf. Materials First All-Russian Conference „Ozone and Other Ecological Friendly Oxidants. Science and Technologies“. 7-9 June, Moscow, p. 131 abstract, (Contribution 9 pp.) 2005

Y. L. Tits, A. P. François, R. M. Van Doorne, G. Pietsch, M. Schmale:

Safety of electricity substations included in building of general purpose and in refit situations
Conf. Proc. CIRED 2005 Turin, Session 1, 4 pp.

C. Humpert, G. Pietsch:

Simulation of Ozone Synthesis in Oxygen- and Air-Fed Surface Discharge Arrangements
Ozone: Science and Engineering 27, 59-68, 2005

V. V. Timatkov, G. Pietsch, A. Saveliev, M. V. Sokolova, A. G. Temnikov:

Influence of solid dielectric on the impulse discharge behaviour in a needle-to-plane air gap
J. Phys. D: Appl. Phys. 38, 877-886, 2005

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

Influence of a Bias Voltage on the Characteristics of Surface Discharges in Dry Air

Plasma Process. Polym. 2, 162-169, 2005

U. Zickler, A. Machkine, M. Schwan, A. Schnettler, X. Zhang, E. Gockenbach:

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

Proceedings 15th Power Systems Computation Conference (PSCC), Liège (B) 2005, PS 6, Paper 6

A. Schnettler:

Blackouts 2003 - Ursachen und Konsequenzen.

In: Hans-Jürgen Ebeling, Till Böhmer (Hrsg.): „Blackouts, Netzmanagement, Kraftwerksinvestitionen - Wie sicher sind (noch) die Stromnetze?“ Energie im Dialog, Bd. 5, VWEW Energieverlag GmbH, Frankfurt am Main 2005





Lehre am ifht

Teaching at ifht

Lehre am ifht

Hochspannungstechnik (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, International Master Program: 2nd 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, International Master Program: 3rd 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

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

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, Qualitätssicherung, 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)

Seminar Hoch- und Mittelspannungsschaltgeräte und -anlagen (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

Die Inhalte wurden 2005 durch folgende Vorträge vermittelt:

- **Begrüßung**
Prof. Dr.-Ing Rolf Windmüller
VDE Landesvertretung NRW
- **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. Dietmar Gensch,
ABB Calor Emag Mittelspannung
GmbH, Ratingen
- **Hochspannungssicherungen**
Dipl.-Ing. Ulrich Haas,
SIBA GmbH & Co. KG, Lünen

- **Kabelsteckverbindungen**
Dipl.-Ing. Andreas Dobler
Pflisterer Kontaktsysteme GmbH &
Co. KG, Winterbach
- **Leistungstransformatoren**
Dipl.-Ing. Frank Hofmann,
AREVA Energietechnik GmbH,
Möchengladbach
- **Einführung in die Anlagentechnik**
Dr.-Ing. Martin Schumacher,
ABB Calor Emag Schaltanlagen
AG, Hanau-Großauheim
- **Anlagen der Hochspannungs-
gleichstromübertragung**
Dr.-Ing. Uwe Kaltenborn,
AREVA Energietechnik GmbH,
Berlin
- **Mittelspannungsfelder und -
schaltanlagen**
Dr.-Ing. Stefan Göttlich,
ABB Calor Emag Mittelspannung
GmbH, Ratingen
- **Wirtschaftlichkeits-
betrachtungen in der Entwick-
lung**
Dr.-Ing. Hartmut Knobloch,
Siemens AG, Berlin
- **Schutz- und Stationsleittechnik**
Dr.-Ing. Siegfried Lemmer,
Siemens AG, Nürnberg
- **Betriebserfahrungen mit moder-
ner Anlagentechnik**
Dr.-Ing. Heinrich Hoppe-Oehl,
RWE Net AG, Dortmund
- **Ortsnetzstationen**
Dr.-Ing. Gisbert Brüggemann,
Schneider Electric, Ratingen
- **Asset Management in Verteilnet-
zen**
Prof.Dr.-Ing. Armin Schnettler,
RWTH Aachen, Institut für Hoch-
spannungstechnik

Siehe Bericht auf Seite 92

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:

- Wechsellspannungsmessung 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

Elektrotechnisches Praktikum I (SS)

TÜ 3, ab 2. Semester Elektrotechniker und Lehramtskandidaten

Inhalt

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

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

High Voltage Laboratory

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

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

Seminar Hoch- und Mittelspannungs- schaltgeräte und -anlagen

Aktivitäten 2005

Exkursionen

Chronicle

Technical Seminar on Medium and High Voltage Equipment and Substations

Activities in 2005

Technical Excursions

Chronik 2005

31.12.04

Letzter Arbeitstag von Lutz Hulka

10.01.05

Promotion von Ulrich Schwarzer mit dem Thema „IGBT versus GCT in der Mittelspannungsanwendung - ein experimenteller und simulativer Vergleich“ an der RWTH

Korreferat: Armin Schnettler

12.01.05

Promotion von Kai Steinbrich mit dem Thema „Untersuchungen zum frequenzabhängigen Übertragungsverhalten von Energiekabeln“ an der Universität Duisburg-Essen

Korreferat: Armin Schnettler

18.01.-19.01.05

ETG Fachtagung „Versorgungsqualität im deutschen Stromversorgungssystem“ im DBB Forum Berlin

Wissenschaftlicher Tagungsleiter: Armin Schnettler

23.01.05

ASUE-Fachtagung „Dezentrale Stromerzeugung mit Erdgas in EFH“ in Essen

Teilnehmer: Holger Krings

24.01.-25.01.05

Besuch der ETH Zürich (Prof. Dr. Göran Andersson, Prof. Dr. Klaus Fröhlich)

Teilnehmer: Armin Schnettler, Thomas Smolka, Uwe Macharey

24.01. - 29.01.05

DAAD-Vorauswahlsitzung für Studienbewerber aus der russischen Föderation in Moskau

Teilnehmer: Gerhard Pietsch

27.01.05

Traditionelles Sprottenessen der Institutsmitarbeiter/innen mit Rückblick auf das Jahr 2004

28.01.05

Energiekabel-Exkursion nach Charle-roi, Besuch bei der Firma Nexans mit 34 Teilnehmern

Exkursionsleiter: Dietmar Meurer

31.01.05

Letzter Arbeitstag von Eva Marie Linne

05.02.-12.02.05

Dr. Gibalov von der Moskauer Staatlichen Universität (MGU) hält sich zu einem Arbeitsbesuch am Institut auf

06.02.05

Traditioneller „Hochspannerball“ in diesem Jahr erstmalig am Karnevals-sonntag. Tolle Stimmung bei vollem Haus.

08.02. - 11.02.05

Bangkok (Thailand): Armin Schnettler und Michael Schwan besuchen Industrieunternehmen im Rahmen der TGGs-Initiative der RWTH Aachen

14.02. - 17.02.05

Besuch von Konrad Sobolewski und Andrzej Lasica, TU Warschau

14.02. - 17.02.05

Auswahlsitzung des Russlandfonds der Deutschen Wirtschaft für russische Führungsnachwuchskräfte sowie für das DAAD/Siemens-Masterprogramm für Ingenieurwachwuchs in Moskau
Teilnehmer: Gerhard Pietsch

17.02.-18.02.05

FGH-ETG-VDN Fachtagung „Windenergie und Netzintegration“ in Hannover
Teilnehmer: Armin Schnettler, Uwe Macharey, Thomas Smolka

17.02.-18.02.05

7. EUROSOLAR-Konferenz „Die primäre Energiewirtschaft wird wieder primär“ in Bonn
Teilnehmer: Holger Krings

19.02. - 25.02.05

Besuch und Vorlesungen an „The Sindhorn International Thai German Graduate School of Engineering“ in Bangkok, Thailand
Armin Schnettler, Rik de Doncker, Kay Hameyer

08.03.-09.03.05

VDE-Tagung „Grenzflächen in elektrischen Isoliersystemen“ in Hanau
Teilnehmer: Christian Cornelissen, Junliang Wu, Philipp Walter, Torsten Wirz

08.03.05

DAAD-Auswahlsitzung für Stipendiaten aus der russischen Föderation in Bonn-Bad Godesberg
Teilnehmer: Gerhard Pietsch

14.03.05

Stipendiatenauswahl des „DAAD-Siemens Scholarship Program ASIA 21st Century“ in Bonn-Bad Godesberg
Teilnehmer: Gerhard Pietsch

01.04.05

Erster Arbeitstag von Bernhard Schowe von der Breile Beginn der Koordination des Exzellenzclusters „Energie- und Verfahrenstechnik“

11.04.05

Fertigstellung der Sanierungsmaßnahme im Hörsaal E I

12.04. - 17.04.05

CIGRÉ Symposium Athens 2005
Teilnehmer: Christian Cornelissen

15.04.05

Besuch bei der IG Metall Frankfurt. Vortrag „Stromversorgung, Rahmenbedingungen und Trends mit Auswirkungen auf die Kabel- und Drahtindustrie“ von Armin Schnettler

18.04.05

Promotion von Kai Steinbrich zum Thema „Untersuchungen zum frequenzabhängigen Übertragungsverhalten von Energiekabeln“ Universität Duisburg-Essen
Korreferat: Armin Schnettler

24.04.-25.04.05

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

30.04.05

Letzter Arbeitstag von Carsten Lüders

02.05.05 Erster Arbeitstag von Ming Tang	23.06.-24.06.05 Internationale ETG-Fachtagung „Zuverlässigkeit, Komponenten Life-Cycles und Unterhalt“ in Luzern, Schweiz Referent Armin Schnettler: „Einflussfaktoren auf die Versorgungszuverlässigkeit von Verteilnetzen“
15.05.05 Erster Arbeitstag von Pinit Jitjing	
16.05. - 20.05.05 Pfingstexkursion nach Süddeutschland	
21.05.05 Teilnahme von 16 Institutsmitgliedern am MLP Marathon in Mannheim	27.06.-28.06.05 RWTH-VDE-FGH-Seminar „Hoch- und Mittelspannungsschaltgeräte und -anlagen“ Wissenschaftlicher Leiter: Martin Schumacher, ABB AG
30.05.-31.05.05 Grenzflächenkolloquium an der TU Darmstadt Teilnehmer: Armin Schnettler, Alexander Tröger, Junliang Wu	28.06.05 Start des Projekts Ökoprotit-Region-Aachen 2005 mit insgesamt 13 Kooperationspartnern; Ziel: Stärkung des Umweltgedankens, Realisierung von ökologischen und ökonomischen Maßnahmen in Betrieben und Institutionen IFHT-Umweltteam: Wilfried Kreitz, Christian Cornelissen, Christoph Kahlen, Holger Krings, Uwe Macharey, Hartmut Frank, Helmut Gehlen, Walter Taeter
01.06.05 Erster Arbeitstag von Holger Krings	
13.06. - 15.06.05 BMU Fachtagung „Integration der Windenergie ins Netz“ in Berlin Teilnehmer: Thomas Smolka	
15.06. - 16.06.05 1. Ökobilanzwerkstatt des Netzwerkes Lebenszyklus in Bad Urach Teilnehmer: Holger Krings, Uwe Macharey, Thomas Smolka	30.06.05 Exkursion im Rahmen des Seminars „Hochspannungs- und Mittelspannungsschaltgeräte und -anlagen“. Besuch der Freiluftschaltanlage am Aachener Kreuz und der Transformatoren-Fabrik der Firma Areva in Mönchengladbach-Rheydt
22.06.-23.06.05 DFG-Kolloquium zum Schwerpunktprogramm SPP 1011 „Zustandsbewertung von Betriebsmitteln und Anlagen der elektrischen Energieversorgung“ Teilnehmer: Armin Schnettler, Christian Cornelissen, Torsten Wirz, Thanapong Suwanasri, Robert Dommerque, Uwe Zickler	01.07.-03.07.05 Traditionelles Segelwochenende am Veerse Meer

13.07.05 Promotion von Feng Li zum Thema „Bewertung von Ausbaumaßnahmen zur Engpassbeseitigung im UCTE-Verbundnetz“ an der RWTH Aachen Korreferat: Armin Schnettler	01.08.05 Erster Arbeitstag von Jermaine Storp Auszubildender im Ausbildungsberuf Industriemechaniker, Fachrichtung Feinwerktechnik
13.07.05 Promotion von Dirk Cremer zum Thema „Nutzbare Übertragungskapazitäten für den kurzfristigen grenzüberschreitenden Stromhandel unter Berücksichtigung von Prognoseunsicherheiten“ Korreferat: Armin Schnettler	13.08. - 20.08.05 Besuch in Bangkok - Koordination TGGS Armin Schnettler
15.07.05 Betriebsausflug zur Zeche Zollverein und zum RWE Essen	19.08. - 22.08.05 XIV th International Symposium on High Voltage Engineering (ISH) Teilnehmer: Junliang Wu
15.07.05 Letzter Arbeitstag von Bernhard Schowe von der Brelie	21.08.-25.08.05 „17 th World Congress Ozone & Related Oxidants, Innovative & Current Technologies“ in Straßburg Teilnehmer: Gerhard Pietsch
16.07. - 22.07.05 DAAD-Auswahlsitzung für Stipendiaten aus Kasachstan in Almaty Teilnehmer: Gerhard Pietsch	25.08. - 29.08.05 Yutaka Goda, CRIEPI, Japan, besucht das Institut
21.07.05 Promotion von Markus Bartram zum Thema „IGBT-Umrichtersysteme für Windkraftanlagen: Analyse der Zyklenbelastung, Modellbildung, Optimierung und Lebensdauervorhersage“ Korreferat: Armin Schnettler	04.09. - 09.09.05 XVI th International Symposium on Physics of Switching Arc in Brno, Tschechien Teilnehmer: Robert Dommerque, Christoph Kahlen, Michael Schwinne, Ming Tang
31.07.05 Letzter Arbeitstag von Stefan Knur	14.09. - 16.09.05 EPE/ETG Kongress 2005 Dresden Teilnehmer: Armin Schnettler
31.07.05 Letzter Arbeitstag von Dr. Hideki Ueno	19.09. - 22.09.05 10 th International Conference on Switching Arc Phenomena (SAP) in Lodz, Polen Teilnehmer: Piotr Margiel

23.09.-03.10.05 CIGRÉ SC A3 & B3 Meeting 2005 in Tokyo, Japan Teilnehmer: Armin Schnettler	31.10. - 04.11.05 Auswahlsitzung für Lomonossov-Stipendiaten der Russischen Föderation in Moskau Teilnehmer: Gerhard Pietsch
17.10. - 19.10.05 66. Kabelseminar in Hannover Teilnehmer: Christian Cornelissen, Torsten Wirz	02.11.05 Erster Arbeitstag von Stefan Federlein
17.10. - 19.10.05 XXXVII Kraftwerkstechnisches Kolloquium in Dresden Teilnehmer: Thomas Smolka	07.11. - 08.11.05 FGH Fachtagung „Kommunikation in der Schutz- und Stationsleittechnik - IEC 61850 in der Praxis: Anwendungen und Erfahrungen“ in Heidelberg Teilnehmer: Armin Schnettler
19.10.05 VDE und VDI: Podiumsdiskussion „Zukunft der elektrischen Energieversorgung in Deutschland“ in Mannheim, Rheingoldhalle Moderation: Armin Schnettler	07.11. - 08.11.05 Netzwerk Lebenszyklusdaten, Statusseminar 2005 in Bonn Teilnehmer: Uwe Macharey, Thomas Smolka
25.10. - 27.10.05 CIGRE / CIRED - Informationsveranstaltung „Entwicklungen in Transport- und Verteilungsnetzen“ in Erlangen Teilnehmer: Armin Schnettler	07.11. - 18.11.05 Julius Beyß, Otto-Hahn-Gymnasium, Landau/Pfalz, absolviert Betriebspraktikum: Elektroniklabor, Mechanische Werkstatt und Rechnerbetreuung Betreuer: Leo Künzer
25.10. - 26.10.05 Philips HVDC Symposium in Delft Teilnehmer: Christian Cornelissen, Alexander Tröger	08.11. - 12.11.05 GTS 2005 Bangkok, Thailand Armin Schnettler
26.10.05 Informationsveranstaltung für die Freiwillige Jugendfeuerwehr Stadt Aachen, den Löschzug Richterich und die Feuerwehren Vaals (NL) und Eupen (B) mit Hochspannungsversuchen Veranstaltungsleiter: Gerhard Pietsch, Ming Tang	12.11.05 29. „Hochwissenschaftliches Kolloquium“ zum Thema „die H-Frage am IFHT“; Übergabe des Pokals „Mann mit der ruhigen Kugel“ durch Michael Schwinne an Bernhard Heil
	14.11. - 25.11.05 Spartak Zimmermann, Ritzefeldgymnasium Stolberg, absolviert Praktikum im Ausbildungsberuf „Mathematisch Technischer Assistent“ Betreuer: Ralph Wegner

15.11.05

Besuch von Bernd Klöckl, ETH Zürich Statustreffen zu „Future Power Systems“

Teilnehmer: Uwe Macharey, Thomas Smolka

15.11. - 20.11.05

Future Power Systems Konferenz 2005 in Amsterdam

Teilnehmer: Christian Cornelissen, Uwe Macharey, Thomas Smolka

28.11.05

Auswahlsitzung im Rahmen des DAAD-Sonderprogramms „Akademischer Neuaufbau Südosteuropa“ in Bonn-Bad Godesberg

Teilnehmer: Gerhard Pietsch

28.11. - 29.11.05

VDN - Fachkongress Netztechnik - Kabeltagung 2005 - in Erfurt Vortrag Armin Schnettler: „Qualität in Netzanlagen - Basis für die Versorgungsqualität“

01.12.05

Eishockey Uni Cup

Teilnehmer: Armin Schnettler

02.12.05

Tag der Elektrotechnik und Informationstechnik

05.12.05

Doktorprüfung von Carsten Lüders zum Thema „Vergleich von Strahlungs- und Turbulenzmodellen zur Modellierung von Lichtbögen in SF6-Selbstblasleistungsschaltern“

Referent: Armin Schnettler

Korreferent: Michael Kurrat



Seminar Hoch- und Mittelspannungsschaltgeräte und -anlagen 27.6. - 28.6. 2005

Das Blockseminar wird jährlich als Weiterbildungsveranstaltung des Instituts für Hochspannungstechnik in Zusammenarbeit mit dem VDE-Regio Aachen und der FGH Mannheim angeboten.

Insgesamt 13 Referenten aus der Industrie gaben in diesem Jahr 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. Martin 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. Dieses Jahr wurde das Angebot des Seminars durch einen Beitrag zu Kabelsteckverbindungen erweitert. Das Seminar-Programm gliederte sich in folgende Vorträge:

- **Schaltlichtbögen**
Dr.-Ing. Max S. Claessens,
ABB Hochspannungstechnik
AG, Zürich
- **SF₆-Hochspannungsleistungsschalter**
Dr.-Ing. Roland von Starck,
Siemens AG, Berlin
- **Vakuumschalter**
Dr.-Ing. Dietmar Gensch,
ABB Calor Emag Mittelspannung GmbH, Ratingen
- **Hochspannungssicherungen**
Dipl.-Ing. Ulrich Haas,
SIBA GmbH & Co. KG, Lünen
- **Kabelsteckverbindungen**
Dipl.-Ing. Andreas Dobler
Pfisterer Kontaktsysteme
GmbH & Co. KG, Winterbach
- **Leistungstransformatoren**
Dipl.-Ing. Frank Hofmann,
AREVA Energietechnik GmbH,
Möchengladbach
- **Einführung in die Anlagentechnik**
Dr.-Ing. Martin Schumacher,
ABB Calor Emag Schaltanlagen
AG, Hanau-Großauheim
- **Anlagen der Hochspannungsgleichstromübertragung**
Dr.-Ing. Uwe Kaltenborn,
AREVA Energietechnik GmbH,
Berlin
- **Begrüßung**
Prof. Dr.-Ing Rolf Windmüller
VDE Landesvertretung NRW
- **Einführung in die Thematik**
Dr.-Ing. Martin Schumacher,
ABB Calor Emag Schaltanlagen
AG, Hanau-Großauheim

- **Mittelspannungsfelder und -schaltanlagen**

Dr.-Ing. Stefan Göttlich,
ABB Calor Emag Mittelspannung GmbH, Ratingen

- **Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen in der Entwicklung**

Dr.-Ing. Hartmut Knobloch,
Siemens AG, Berlin

- **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

- **Asset Management in Verteilnetzen**

Prof.Dr.-Ing. Armin Schnettler,
RWTH Aachen, Institut für Hochspannungstechnik



Exkursion

Die Teilnehmerzahl lag bei insgesamt 100 Teilnehmern, von denen 60 aus der Industrie stammen sowie 40 Studierende. Aufgrund der guten Resonanz und positiven Kritik soll das Seminar auch 2006 wieder angeboten werden. Abgerundet wurde das Programm durch eine Studentenexkursion zur 400kV Schaltanlage Aachener Kreuz und zum Transformatorenwerk der Firma AREVA Schorch Energietechnik GmbH in Mönchengladbach. Bei allen Vortragenden, der STAWAG, Aachen und AREVA, Mönchengladbach möchten wir uns an dieser Stelle noch einmal herzlich bedanken.

Betriebsausflug am 15.07.2005 nach Essen

In diesem Jahr ging der Betriebsausflug nach Essen. In alter Aachener Tradition sollte das Bergmannswesen Thema sein. Die Zeche Zollverein bietet ein anschauliches Bild für den Bergbau im Ruhrgebiet im Wandel der Zeit. Die morgendliche Führung durch das Weltkulturerbe brachte daher sowohl technische als auch soziale und kulturelle Aspekte zu Tage. Beim mittäglichen Imbiss mit traditioneller Currywurst für die Einen oder dem Essen in der Cafeteria für die Anderen wurde sich für den zweiten Teil des Ausflugs gestärkt. Die Besichtigung des RWE Brennstoffzellen-Pavillion. In Aachen angekommen, fuhren die meisten Mitarbeiter nach Kornelimünster, um den Tag im Garten von Herrn Professor Schnettler beim Grillen gemütlich und mit netten Gesprächen ausklingen zu lassen.

Essen

Um 8:00 Uhr ging es los in Richtung Essen. Essen bietet als größte Stadt des Ruhrgebiets ein breites Spektrum von Sehenswürdigkeiten. Neben der tiefen Verwurzelung von Religion und Kirche - bereits um 800 n. Chr. wurde in Essen ein Benediktinerkloster gegründet, und Essen ist seit 1958 ein Bistum der katholischen Kirche - liegen die Wurzeln des heutigen Essens in der Schwerindustrie (Gründung der Firma Krupp 1812) und im Bergbau. Bereits im 14. Jahrhundert erhielt Essen das Recht, Kohle abzubauen. Von diesem Recht wurde bis zur Stilllegung der Zeche Zollverein 1986 Gebrauch gemacht.



Weltkulturerbe Zeche Zollverein

Heute bietet Essen ein breites soziales und kulturelles Spektrum. Essen ist als Messestadt immer noch ein Zentrum der Industrie und Wirtschaft in NRW.

Zeche Zollverein und RWE Brennstoffzellen-Pavillion

Vor Ort angekommen, wurde die Gruppe gleich in zwei Hälften geteilt, um die Führung anschaulicher zu machen. Die Führer achteten dabei besonders darauf, der Gruppe sowohl kulturelle und gesellschaftliche als auch technische Hintergründe zu erläutern. Heutzutage wird mehr und mehr die kulturelle Nutzung deutlich. Jedoch konnte die Gruppe während der Führung auch Eindrücke der ursprünglichen industriellen Nutzung gewinnen. In den Hallen wurde erklärt, unter welchen Umständen die Bergmänner in den verschiedenen Jahrhunderten die Kohle abbauten. Sowohl die Gerätschaften als auch die Arbeitsumstände wurden anschaulich dargestellt. Auch wurde die Vernetzung des Abbaugebiets unter der Stadt verdeutlicht, wobei auch klar wurde, wie sehr die Städte im Ruhrgebiet durch Stollen in verschiedenen Tiefen untergraben sind. Dabei erläuterte der Führer der Gruppe, dass zwar auch in Essen eine Absenkung der Gebäude stattgefunden hat, dass diese aber in Randgebieten des Ruhrgebiets viel erheblicher sei. Da der Schacht 12 auch heute noch am Standort ist, konnte die Gruppe dort nachhaltige Eindrücke

über den damaligen Tagesablauf gewinnen. Leider bestand während der kurzweiligen Führung nicht die Möglichkeit, in einen Schacht hineinzufahren.



Traditionelle Stärkung

Nach der Pause wurde wieder der Bus bestiegen, um zum RWE Brennstoffzellen-Pavillion zu fahren. Der Pavillon aus Glas und Stahl ist die zentrale Forschungsstation der RWE Brennstoffzellen-Experten. Hier wird seit August 2001 ein breites Spektrum von Brennstoffzellen-Typen getestet. Die Gruppe wurde dort über den Stand der Entwicklung informiert und erhielt eine Führung durch den Pavillion, wo unter anderen eine 100 kW SOFC (Solid oxide fuel cell) zu sehen ist, die mit rund 20.000 Betriebsstunden, die sie in Essen und an ihrem ehemaligen Standort in Arnheim, absolviert hat, eine Spitzenposition hinsichtlich Betriebszeit unter den Hochtemperatur-Brennstoffzellen innehat.



Im RWE Brennstoffzellen-Pavillion

Nachdem die Gruppe nun Einblicke und Erkenntnisse sowohl im Bereich der traditionellen Rohstoffgewinnung als auch in der möglichen zukünftigen Bereitstellung von Energie gewonnen hatte, wurde die Rückfahrt nach Aachen angetreten.

Ausklang

Für den Abend hatte Familie Schnettler die Mitarbeiter zum Grillen eingeladen. Die Mehrheit der Mitarbeiter setzte sich daher ins Auto oder aufs Fahrrad und fuhr nach Kornelimünster. Es gab reichlich zu essen und zu trinken, so dass bald Hunger und Durst gestillt waren.



Grillen bei Familie Schnettler

Es blieb 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 oder sportlich aktiv beim Tischtennis Revue passieren zu lassen.

Unicup 2005

Am 1. Dezember 2005 trafen zum 17. Mal die Fachbereiche Medizin, Maschinenbau und Elektrotechnik in einem Wettstreit der besonderen Art aufeinander. Wie in jedem Jahr stellte jeder der drei Fachbereiche je drei Eishockey-Teams bestehend aus Professoren, Studentinnen und Studenten, um den „Eiskampf“ (wie er von seinem Begründer Professor Christian Mittermayer liebevoll genannt wird) für sich zu entscheiden.

Die Aachener Eissporthalle war auch dieses Jahr ausverkauft, und die Stimmung kochte auf dem Höhepunkt als die Spieler/innen der E-Technik-Lions, der Medical-Strikers und der Aachen-Steelers begleitet von ihren Cheerleadern auf die Eisfläche geführt wurden. Nach insgesamt 9 Begegnungen und ca. vier Stunden Spielzeit setzte sich der Fachbereich Medizin denkbar knapp mit 10 Punkten gefolgt von den Fachbereichen Maschinenbau (9 Punkte) und Elektrotechnik (8 Punkte) durch. Freude und Jubel von Spieler/innen und Fans kannten keine Grenzen, so dass auf der anschließenden Party in einer bekannten Aachener Diskothek, bei der die Sieger den begehrten Pokal entgegen nehmen durften, bis in den Morgen gefeiert wurde.



„Eiskampf“ der Professoren

Als weiterer und wichtigster Gewinner der Veranstaltung ist aber das Projekt „HIV-Prävention in Deutschland/Slowakei“ zu erwähnen, die eine Spende aus dem Erlös des Unicups in Höhe von insgesamt 4000 Euro entgegennehmen durfte.

Pfingst-Exkursion nach Süddeutschland

Nachdem die Exkursion des Jahres 2004 den Norden Deutschlands zum Ziel hatte, führte die Exkursion vom 16.05.-22.05.2005 nach Süddeutschland. Neben den Besuchen bei namhaften Unternehmen in Regensburg, Nürnberg, Stuttgart und Mannheim war auch die im letzten Jahr etablierte Teilnahme des Instituts am Dämmermarathon in Mannheim ein besonderes Highlight. Besonders hervorzuheben ist, dass wir in diesem Jahr bei allen besuchten Unternehmen sehr freundlich empfangen und außerordentlich engagiert betreut wurden. Trotz eines umfangreichen Programms blieb darüber hinaus genügend Zeit, die besuchten Städte auf eigene Faust zu erkunden.

Anreise nach Regensburg

Am Pfingstmontag um 08:45 Uhr traf sich unsere 40-köpfige Exkursionsgruppe (32 Studenten, 7 Assistenten und Prof. Schnettler) in der Wüllnerstraße, um pünktlich um 09:00 Uhr gen Süden aufzubrechen. Nach der Ankunft in Regensburg am Nachmittag, bezogen wir unser Quartier in der auf einer Donauinsel gelegenen Jugendherberge. Der Rest des Tages stand zur Erkundung der nahen Innenstadt zur Verfügung.

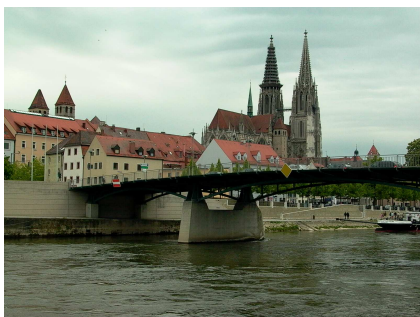


Abb. 1: Blick auf die Altstadt von Regensburg

Den Sportlern unter uns wurde im Hinblick auf den Marathon ein Lauftraining unter Leitung von Professor Schnettler angeboten.

Maschinenfabrik Reinhausen und Areva Sachsenwerk in Regensburg

Dienstags begann das Exkursionsprogramm mit dem Besuch bei der Maschinenfabrik Reinhausen. Schon während der Vorstellung des Unternehmens entwickelte sich eine angeregte Diskussion mit den Teilnehmern. Das besondere Interesse der Studenten an Einstiegsmöglichkeiten und Karrierechancen zeigte deutlich, dass Maschinenfabrik Reinhausen als attraktiver Arbeitgeber angesehen wurde.



Abb. 2: Vorstellung der Maschinenfabrik Reinhausen in Regensburg

Bei der anschließenden Werksführung hatten wir Gelegenheit, die einzelnen Schritte der Produktion von Laststufenschaltern zur unterbrechungslosen Spannungseinstellung von Transformatoren kennen zu lernen. Bei einem gemeinsamen Mittagessen konn-

ten die am Vormittag begonnenen Gespräche fortgesetzt und vertieft werden. Am Nachmittag folgte bereits die zweite Firmenbesichtigung. Bei der Areva Sachsenwerk GmbH wurden uns die Versuchslabore und die Produktion von gasisolierten Schaltanlagen gezeigt, was eine eindrucksvolle Ergänzung zu den in Vorlesungen erworbenen theoretischen Kenntnisse über Schaltanlagen darstellte. Darüber hinaus war es sehr interessant zu erfahren, wie die Produktion durch Prozessoptimierung und Qualitätsmanagement effizient gestaltet wurde.



Abb. 3: Besuch bei Areva Sachsenwerk

Den Ausklang des Tages bildete ein Biergartenbesuch auf Einladung von der Geschäftsleitung von Maschinenfabrik Reinhausen.

Siemens und E.on in Nürnberg

Auch am Mittwoch erwartete uns ein umfangreiches Programm. Um 09:00 trafen wir in Nürnberg bei Siemens PTD (Power Transmission and Distribution) ein. Dort bekamen wir einen Einblick in die Produktion von Leistungstransformatoren, die allein schon durch ihre Abmessungen beeindruckten. Uns wurde die Herstellung der geblechten Transformatorkerne und die Montage der Wicklungen

gezeigt. Nicht fehlen durfte natürlich die Anbringung der Laststufenschalter, die wir tags zuvor kennen gelernt hatten. Von Siemens PTD ging es am Nachmittag weiter zur Firma E.on. Nach einer Unternehmenspräsentation erhielten wir eine Führung durch das Kraftwerk Franken 1. Die beiden Blöcke des Kraftwerks können sowohl mit Erdgas als auch mit leichtem Heizöl betrieben werden. Die installierte Gesamtleistung beträgt 843 MW. Aufgrund der hohen Rohstoffpreise wird Franken 1 als Spitzenlast- und Reservekraftwerk eingesetzt. Außerdem wird die Stadt Nürnberg mit Fernwärme versorgt. Abgerundet wurde der dritte Tag der Exkursion durch den Besuch der Freiluft-Schaltanlage Raitersaich, wo es die Gelegenheit gab, die aus Vorlesungen und Seminaren bekannten Betriebsmittel und Komponenten einer Schaltanlage aus der Nähe zu sehen. Thematisch war diese Station eine interessante Ergänzung zu den gasisolierten Schaltanlagen, die wir bei Areva gesehen hatten. Anschließend kehrten wir zu unserer Jugendherberge in Regensburg zurück.

EnBW und Porsche in Stuttgart

Nach einer sehr kurzen Nacht brachen wir am Donnerstag um 06:00 Uhr mit gepackten Koffern auf nach Esslingen zur EnBW Regional AG, die als Tochterfirma der EnBW Holding das Hoch-, Mittel- und Niederspannungsnetz der EnBW betreibt. Erste Station unseres Besichtigungsprogramms war die 110 kV Netzleitstelle. In der zweiten Station wurde das Trainings- und Schulungssystem für die Mitarbeiter der Leitstelle vorgestellt. Die Zentrale Netzleitstelle (ZNL) für das Mittelspannungsnetz stellte die dritte Station

dar. An den Stationen wurden uns die jeweiligen Human-Machine Interfaces (HMI) vorgestellt. Anhand von praxisnahen Szenarien wurden uns Beispiele für Netzsicherheitsrechnungen vorgestellt und wir erhielten einen interessanten Einblick in die Konzepte zur Störungsanalyse.

Nachmittags stand dann der Besuch bei Porsche auf dem Programm. Zunächst konnten wir im Porschemuseum eine Auswahl klassischer und moderner Sportwagen bewundern.



Abb. 4: Porsche in Stuttgart

Anschließend folgte eine Führung durch das Werk. Dabei konnten wir alle Produktionsschritte von der Montage der Karosserie bis zum Einbau von Motor und Interieur mitverfolgen. Da das Werksgelände von Porsche relativ klein ist, läuft die Produktion vertikal, d.h. in mehreren Etagen übereinander, ab, wobei verschiedene Modelle in der selben Produktionslinie montiert werden. Jedes Fahrzeug wird erst auf Bestellung produziert und die Zulieferer liefern die benötigten Komponenten just in time und in der richtigen Reihenfolge, was eine präzise Koordination erfordert. Im Anschluss an die Werksführung wurden wir zu einem ausgezeichneten Buffet eingeladen. Ein Unternehmenssprecher sowie der Leiter der Motorenentwicklung standen zur Verfügung, um die zahlreichen Fragen der Teilnehmer ausführlich zu diskutieren. Anschließend brachte uns der Bus zur Jugend-

herberge in Stuttgart, wo wir für eine Nacht Quartier bezogen.

Südkabel und FGH in Mannheim

Am nächsten Morgen besuchten wir die Südkabel GmbH in Mannheim. Dort werden Mittel-, Hoch- und Höchstspannungskabel sowie Kabelgarnituren gefertigt. Es war sehr beeindruckend, die großen Verseilmaschinen, mit denen die Leiter aus einzelnen Drähten hergestellt werden, zu sehen. Innere Leitschicht, Isolierung und äußere Leitschicht werden im Extrusionsverfahren mit einem Dreifachspritzkopf in einem Arbeitsschritt auf den Leiter aufgebracht. Im Anschluss an die Werksbesichtigung gab es noch Gelegenheit zu weiterführenden Gesprächen bevor wir zur FGH weiterreisten. Nach einer kurzen Vorstellung der FGH wurden uns das Hochspannungsprüffeld, das Leistungsprüffeld, das Fremdschichtlabor sowie das Kabbellabor gezeigt. Dieser letzte Besuch bildete für die meisten Teilnehmer den Abschluss der Exkursion. Der Bus setzte die Marathonläufer in Viernheim ab und fuhr nach Aachen zurück.

Dämmermarathon in Mannheim

Die Marathonläufer unter uns bezogen unterdessen ihre Quartiere im Sporthotel in Viernheim. Wie bereits im Jahr zuvor, lud Professor Schnettler am Abend alle Sportler zu einem gemeinsamen Pizzeessen ein. Am nächsten Tag konnte sich jeder Läufer individuell auf den Marathon vorbereiten. Die meisten verbanden die Abholung der Startunterlagen mit einem Besuch der Marathonmesse, wo eine Vielzahl von Sportartikeln zu günstigen Preisen an-

geboten wurde. Außerdem hatten wir die Gelegenheit zu einem Stadtbummel. Kurz vor dem Start trafen wir uns am Wasserturm in Mannheim zu einem gemeinsamen Gruppenfoto.



Abb. 5: Gruppenfoto der Marathonläufer

Anschließend begaben sich die Läufer zu den jeweiligen Startpunkten ihrer

Wettkampfgruppen. Nach dem für alle Teilnehmer erfolgreichen Marathonlauf fuhren wir spät abends mit der letzten Bahn zurück nach Viernheim. Nach einer erholsamen Nacht und einem gemütlichen Frühstück traten wir dann die Rückfahrt nach Aachen an.

Organisatoren

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

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