

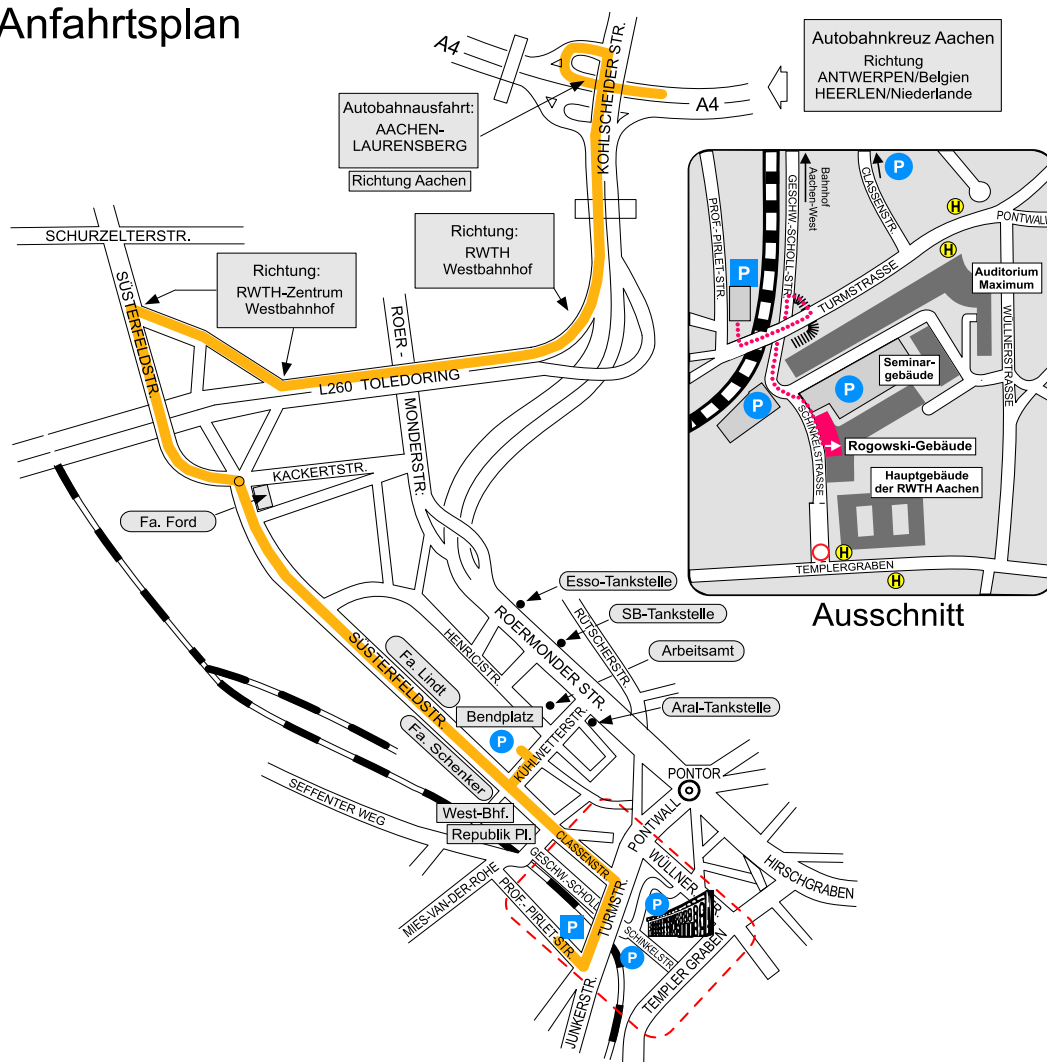


Jahresbericht 2006

Institut für Hochspannungstechnik
Schinkelstraße 2
52056 Aachen

Telefon: ++49/(0)241/80-94931
Fax: ++49/(0)241/80-92135
e-mail: post@ifht.rwth-aachen.de
Internet: www.ifht.rwth-aachen.de

Anfahrtsplan



Herausgeber: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Armin Schnettler
Institut für Hochspannungstechnik der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen

Redaktion: Dipl.-Ing. Michael Keßler, Dipl.-Ing. Torsten Wirz
Redaktionsschluß: 29.01.2007

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Forschung am ifht

Berichte aus der laufenden Forschung

Forschungsgebiete	10
Kühlungsmechanismen der Heißgasströmung im Auspuff von Selbstblasleistungsschaltern	16
Experimentelle und theoretische Untersuchung des Abschaltverhaltens von alternativen Löschgasen im Vergleich zu reinem SF ₆	24
Automatisierte Prüfung von Hochspannungskabelmuffen mittels Ultraschall	28
Untersuchungen des Alterungsverhaltens von nanostrukturierten superhydrophoben Isolierstoffoberflächen unter simultanen elektrischen und klimatischen Beanspruchungen	32
Untersuchungen zur Stoßspannungsfestigkeit von syntaktischem Schaum	36
Untersuchung der elektrischen Eigenschaften von elastischem syntaktischen Schaum ...	40
Verteilte Energiewandlung in zukünftigen Verteilungsnetzen - Ergebnisse einer Fallstudie	46
Ganzheitliche Bewertung der Netzintegration von Offshore Windparks in Deutschland ..	52
Erweiterung des Anwendungsbereichs eines Druckberechnungsverfahrens für den Störlichtbogenfall	58
Asset Management in Hochspannungsschaltanlagen - Einflussfaktoren und Maßnahmen des Netzbetreibers	62

Externe Forschungsarbeiten

Statistische Methode zur Bewertung der Ausfallwahrscheinlichkeit von Komponenten in Verteilungsnetzen	66
---	----

Dissertationen

Einfluss des Elektrodenabbrandes auf das Schaltverhalten eines SF ₆ - Selbstblassehalters	70
Investigation on No-load Mechanical Endurance and Electrical Degradation of a Circuit Breaker Model Under Short Circuit Current Interruption	74
Untersuchungen zur Hochfrequenzkonditionierung von Vakuumschaltkammern	78
Untersuchungen zur Beeinflussung des durch Störlichtbögen verursachten Überdrucks in elektrischen Anlagen	82
Detektion und Evaluation von Inhomogenitäten im Volumen und an inneren Grenzflächen in polymeren Isoliersystemen mittels Ultraschall	86

Diplom-, Master- und Studienarbeiten - 2006 abgeschlossen

Veröffentlichungen

Lehre am ifht

Vorlesungen und Praktika	100
--------------------------------	-----

Das Institut

Chronik	106
Seminar Hoch- und Mittelspannungsschaltgeräte und -anlagen	111
Aktivitäten 2006	113
Exkursionen	126

Contents

Preface

Research at ifht

Scientific Reports

Fields of Research	13
Cooling Mechanisms of the Hot Gas Flow in the Exhaust of Self-Blast Circuit Breakers ..	20
Experimental and Theoretical Investigation on the Thermal Interruption Capability of CO ₂	26
Automated Testing of High Voltage Cable Joints Using Ultrasound	30
Investigations of the Aging Performance of Nanostructured Superhydrophobic Insulating Surfaces Under Simultaneous Electrical and Climatic Stresses	34
Syntactic Foam Under Lightning Impulse Voltage Stress	38
Investigation of the Electrical Properties of Elastic Syntactic Foam	43
Dispersed Generation in a Distribution Network - Results of a Studycase	49
Assessment of Grid Integration of Offshore Wind Parks in Germany	55
Extension of the Application Area of a Pressure Rise Calculation Method in Case of Fault Arcs	60
Asset Management in High Voltage Substations - Influencing Factors and Measures of the Network Operator	64

External Scientific Reports

Statistical Approach for Evaluation of Component Failure Probability in Distribution Systems	68
--	----

PhD Theses

Einfluss des Elektrodenabbrandes auf das Schaltverhalten eines SF ₆ - Selbstblasschalters	70
Investigation on No-load Mechanical Endurance and Electrical Degradation of a Circuit Breaker Model Under Short Circuit Current Interruption	74
Untersuchungen zur Hochfrequenzkonditionierung von Vakuumschaltkammern	78
Untersuchungen zur Beeinflussung des durch Störlichtbögen verursachten Überdrucks in elektrischen Anlagen	82
Detektion und Evaluation von Inhomogenitäten im Volumen und an inneren Grenzflächen in polymeren Isoliersystemen mittels Ultraschall	86

Diploma- and Project Theses 2006	90
---	----

Publications	97
---------------------------	----

Teaching at ifht

Lectures and Laboratories	100
---------------------------------	-----

The Institute

Chronicle	106
Technical Seminar on Medium and High Voltage Equipment and Substations	111
Activities 2006	113
Technical Excursions	126

Sehr geehrte Freunde des Instituts für Hochspannungstechnik,

der vorliegende Jahresbericht 2006 soll Ihnen unsere Aktivitäten und Forschungsarbeiten vorstellen und über aktuelle Entwicklungen innerhalb und außerhalb unseres Instituts berichten.

Erfreut können wir feststellen, dass die (elektrische) Energietechnik weltweit einen wahren Nachfrageboom erfährt. Die erheblich gestiegenen Investitionen in energietechnische Anlagen dokumentieren damit den in den vergangenen Jahren aufgebauten Investitionsstau - nicht nur in Deutschland. Zudem haben die gestiegenen Energiepreise international dazu geführt, dass jetzt weltweit eine große Anzahl von Groß-Projekten umgesetzt werden, mit der Folge der lange nicht mehr beobachteten Ausbildung eines „Verkäufermarktes“. Die Netzstörungen Ende 2005 („Münsterland“) und am 4. November 2006 („Emsland“), die Zielvorgaben der Regulationsbehörde und die aktuellen Störungen der Gas- und Ölversorgung aus Russland und selbst die bisher sehr milden Wintertemperaturen haben die Energietechnik stark in die öffentliche Diskussion gebracht - leider oftmals in Verbindung mit Negativschlagzeilen! Hier gilt es, für die Energieversorgung der Zukunft möglichst schnell realistische Visionen und Strategien zu entwickeln, diese zu kommunizieren und konsequent umzusetzen, um aus technischer, ökologischer wie wirtschaftlicher Sicht den für die nächsten Generationen bestmöglichen Nutzen zu erzielen. Wir werden uns in Verbindung mit der Politik, Verbänden und unseren Partnern bemühen, hierzu einen Ziel führenden Beitrag zu liefern.

Das stark zunehmende Interesse an der Energietechnik manifestiert sich in einem weiter gestiegenen Anteil der energietechnisch nahen Studierenden an der Gesamtstudierendenzahl. Es ist interessant zu beobachten, dass sich im letzten Wintersemester nahezu 50 % der Neueinschreiber in unserer Fakultät für energietechnische Themen entschieden haben. Leider hat sich jedoch die Gesamtzahl neu eingeschriebener

Studierender in der Elektrotechnik und Informationstechnik im Vergleich zum Vorjahr reduziert.

Sehr erfreulich ist, dass wir unsere Aktivitäten auch in diesem Jahr nochmals deutlich gesteigert haben. Im Berichtszeitraum konnten fünf Dissertationen erfolgreich abgeschlossen werden; zwanzig Publikationen sowie eine Vielzahl von Präsentationen, Moderationen etc. belegen, dass wir auch extern eine hohe Nachfrage erfahren. Besonders angenehm ist die sehr enge Kooperation mit unseren Studierenden. Viele gemeinsame Aktivitäten sowie neunzehn abgeschlossene Diplomarbeiten, neun Masterarbeiten und elf Studienarbeiten zeigen, dass sowohl das Arbeitsklima am Institut als auch unsere Themenstellungen eine gewisse Attraktivität aufweisen. Höhepunkt dieser Kooperation war sicherlich die Ausrichtung des Schülerforums und des e-studentdays im Rahmen des VDE Kongresses 2006 durch die VDE Jungmitglieder. Es ist erstaunlich, mit welchem Engagement und Professionalität die Studierenden sich dieser Aufgabe annahmen und umsetzten. Der außerordentlich große Erfolg der Veranstaltung ist ausschließlich diesem Team zu verdanken.

Auch unsere internationalen Projekte haben sich weiterhin gut entwickelt. Unser Engagement im Rahmen der Sirindhorn Thai-German Graduate School of Engineering (TGGS), Bangkok, wurde nicht nur mit einer zunehmenden öffentlichen Wahrnehmung in Thailand sondern auch mit einem ersten Industrieprojekt belohnt. Weiterhin sind wir maßgeblich mit an der Gründung des Al Masdar Research Networks, Abu Dhabi, beteiligt. In enger Kooperation mit unseren Kollegen der Wasserwirtschaft, insbesondere Prof. H. Nacken, dem Umweltforum der RWTH Aachen (Geschäftsführer: M. Nerger) sowie dem RWTH-Dezernat für Technologietransfer (Frau Dr. R. Oertel) und den internationalen Partnern und dem Emirat Abu Dhabi wurde die strategische Ausrichtung im Jahr 2006 auf die

Forschungsfelder „Wasser“ und „Energie“ festgelegt. Wir hoffen, zukünftig regelmäßig über die Fortschritte in dieser Initiative berichten zu können.

Weniger erfreulich verlief für die energietechnischen Forschungseinrichtungen die Exzellenzinitiative des Bundes, speziell die Beantragung eines Exzellenzclusters. Wir hatten die Aufgabe übernommen, einen Vorantrag zu koordinieren und auch erhofft, mit den erarbeiteten Ideen und Visionen in die zweite Runde zur Ausarbeitung eines sog. Langantrags zu kommen. Leider wurde weder an der RWTH Aachen noch an einer anderen Universität ein energietechnisches Thema zur Bildung eines solchen Exzellenzclusters ausgewählt. Offensichtlich fehlen der deutschen Energietechnik hier die Visionen, die Grundlagen orientierte Forschungsausrichtung oder auch nur die Exzellenz im Sinne der Deutschen Forschungsgemeinschaft und des Wissenschaftsrates. Aufgrund der geleisteten Vorarbeiten und der vorhandenen Infrastruktur haben wir uns daher entschieden, auf privatwirtschaftlicher Basis ein energietechnisches Exzellenzzentrum zu etablieren. Ich würde mich freuen, in dieser Sache auch weiterhin auf Ihre Unterstützung zählen zu können.

Mit Wirkung zum 1. Januar 2007 wurde die RWTH Aachen als Körperschaft des öffentlichen Rechts im Rahmen des Hochschulfreiheitsgesetz verselbstständigt und ist damit keine staatliche Einrichtung mehr. Die damit verbundenen zusätzlichen Freiheitsgrade sollen ermöglichen, uns besser, effizienter und schneller für die Zukunft aufzustellen. Natürlich sind mit der gewonnenen „Freiheit“ auch (finanzielle ?) Risiken verbunden - wir werden uns jedoch auf die Chancen konzentrieren und sind sicher, die gewonnene Flexibilität national wie international zu nutzen wissen. Gerne informiere ich Sie - auch persönlich - über die anstehenden Entwicklungen.

Unser Mitarbeiterstamm hat sich auch im Jahr 2006 deutlich verändert. Nach Abschluss ihrer wissenschaftlichen Arbeiten bzw. der Ausbildung haben uns viele erfahrene Mitarbeiter plangemäß verlassen. Ihnen gebührt mein besonderer Dank - verbunden mit dem Wunsch, auch im nächsten Karriereschritt erfolgreich zu sein. Unser Ziel ist jetzt, die jungen Mitarbeiter schnell und erfolgreich in die Forschungsarbeiten zu integrieren. Herr Dr.-Ing. C. Cornelissen, hat uns Anfang 2006 verlassen, um neue Herausforderungen in der Industrie anzunehmen. Wir wünschen ihm alles Gute, persönlich viel Erfolg und bedanken uns bei ihm für seine hervorragenden Leistungen, die er als Oberingenieur für das Institut erbracht hat. Als Nachfolger hat Dr.-Ing. Bernhard Heil die Position des „OI“ im Frühjahr 2006 übernommen.

Weitere Informationen über das Institutsleben 2006 können Sie dem Bericht oder auch unserer neu gestalteten Homepage (www.ifht.rwth-aachen.de) entnehmen. Ich würde mich freuen, wenn Sie auch weiterhin eng zu uns stehen und uns durch Ihre Mitarbeit, Diskussionen und Anregungen sowie Ihre ideellen und finanziellen Beiträge unterstützen.

Ich bedanke mich bei allen Mitarbeitern, Freunden und Partnern für Ihren Einsatz, Ihr Vertrauen und die angenehme Zusammenarbeit. Gemeinsam mit Ihnen wollen wir uns auch zukünftig weiterentwickeln und unseren Beitrag zum Nutzen der Gesellschaft leisten.

Herzliche Grüße aus Aachen
Ihr



Aachen, im Januar 2007

Dear partners and friends,

Worldwide (electrical) power engineering is facing an interesting time with global challenges and booming markets. Strong increase in energy related investments have shown that recently the infrastructure has not longer been able to cope with its new tasks and requirements with respect to increased flexibility, capacity and efficiency. Due to all these trends and a strong increase in energy prices, a huge number of major projects have been started resulting in significant shortages of production capacities for power system components and systems. As a result delivery times and prices are increasing characterizing a typical sellers' market. In Germany's public „energy“ is now getting more and more into the focal point mainly due to

- the recent major power system brownouts end of 2005 („Münsterland“) and on November 4, 2006 („Emsland“),
- the fierce discussions between power system operators and the newly installed regulator
- the recent cut-offs in gas and oil supplies from eastern Europe to Germany
- the relatively mild temperatures and their correlation to a likely climate change.

The huge number of public discussions, TV news and special reports etc. do not really support the urgent need for the development of unbiased and realistic visions and strategies for an ecologically, economically and technically feasible power system for the next generations. In close cooperation with politics, NGOs and associations and our partners we strive to make our contribution to these topics.

Nevertheless, we are glad to report a growing interest in electrical power engineering

at our university. Last winter term approximately 50 % of all new students of our faculty (Electrical Engineering and Information Technologies) have chosen diploma programs with focus on electrical power engineering. Unfortunately, the total number of new students in our faculty is slightly below the figure of the previous year.

I am very pleased to report again an increase in performance and activities. During the year in total five dissertations have been concluded successfully; twenty publications as well as a huge number of presentations, moderations, etc. demonstrate that the external awareness of our institute has grown again. Notably our close cooperation with our students is worth to mention. An unknown number of joint activities as well as 19 diploma thesis, 9 master thesis and 11 students mini thesis have been concluded during 2006 showing both that living and working at our institute is offering some kind of attractiveness to our students. One highlight of the 2006 students activities has been the organisation and realisation of the e-studentday and the „Schülerforum“ during the bi-annually VDE Congress 2006 which took place in Aachen. It has been a pleasure to observe the engagement and professionalism within the group of students. Thanks to their performance these events have been a great success. Our international projects have shown significant progress. It is very positive to report that the Sirindhorn Thai-German Graduate School of Engineering (TGGS) has become a continuously growing perception in Thailand resulting in our first industrial research and development project in Bangkok. During 2006 we have strongly been involved in the founding process of the Al Masdar Research Network, Abu Dhabi. In close co-operation with our hydrology colleagues, mainly Prof. H. Nacken, the forum of Environmental Science (managing director: M. Nerger) and the department for technology transfer (Ms. Dr. R. Oertel) as well as our international partners and

the emirate Abu Dhabi the strategic direction has been focused on the research topics „water“ and „energy“. In future, we do hope to report regularly about big projects and significant progress in this initiative.

Less successful has been the engagement of our energy related research organizations in the German excellence initiative. Our institute got the task to co-ordinate and prepare a project proposal for the funding scheme „excellence cluster“. Based on many discussions and ideas we were quite optimistic to become invited for the second part of this competition. However, neither our project proposal nor any other energy system related one has been considered to concentrate research activities in one of these clusters. Obviously, we are missing visionary ideas or maybe the German energy research is not perceived as „excellent“ according to the definition of the German Research Foundation (DFG) resp. according to the evaluation of „The Wissenschaftsrat“ and their reviewer. Nevertheless, we do believe to have excellent prerequisites for a centre of competence (not to call it: excellence) in energy research here at RWTH Aachen University and Forschungszentrum Jülich. Therefore, we strive for an excellence centre based on public private partnership agreements. I would be glad to get your support and sponsorship in this respect also.

Starting January 1, 2007 RWTH Aachen University has become autonomous and is not longer a state owned enterprise. We do believe to use this kind of freedom to operate even faster and more efficient striving to establish our university in the top international rankings. I will continuously inform you about any progress in this field.

In 2006 our staff has again undergone significant changes. After completing their scientific work many of our experienced employees left the institute. I would like to take the opportunity to again thank all of them for their engagement and performance and do wish them good luck and success for their future career steps. Now, we quickly need to integrate the new team members in our research projects. Special thanks are given to Dr.-Ing. Christian Cornelissen who left our institute beginning of 2006 in order to accept new challenges in industry. We would like to wish him all the best for his future career and thank him for his outstanding performance as former chief engineer of our institute succeeded by Dr.-Ing. Bernhard Heil who took over his tasks spring 2006.

More information can be taken out of this annual report but also from our updated homepage (www.ifht.rwth-aachen.de). I would be glad to further on count on your support, discussions and initiatives as well as on your personal and financial contributions.

Finally, I would like to thank all of my team members, our friends and partners for your engagement as well as for your trusty and convenient co-operation. Closely together with you all we strive to cope with the global challenges and would like to contribute to our society benefits.

Yours sincerely



Aachen, January 2007

Berichte aus der Forschung

Dissertationen

Diplom-, Master- und Studienarbeiten

Veröffentlichungen

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 Selbstblas-Leistungsschalter werden grundlegende experimentelle Untersuchungen wie Druckmessung, Bestimmung der Grenzausschaltleistung, optische Untersuchungen und Messung der Gasströmung in der Druckkammer durchgeführt. Dabei wird sowohl das bislang bevorzugt eingesetzte SF₆ als auch CO₂ als mögliche Alternative untersucht. 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 (bis 31.10.) * Dipl.-Ing. Robert Dommerque (bis 31.10.) * Dipl.-Ing. Bernhard Heil (bis 31.01.) * Dipl.-Ing. Jan Christoph Kahlen * Dipl.-Ing. Andreas Kurz
M. Sc. Piotr Margiel * Dipl.-Ing. Michael Schwinne * M. Sc. Thanapong Suwanasri (bis 31.03.) * Dipl.-Ing. Ming-Chark Tang * M. Sc. Ravindra Kumar Ucchintala

Forschungsgruppe “Isoliersysteme und Diagnostik”

Gruppenleiter: Dr.-Ing. Bernhard Heil

Kurzbeschreibung:

Die Forschungsgruppe bearbeitet ein weites Themengebiet von der Entwicklung neuartiger Isolierstoffe bis zur Zustandsbewertung von Isoliersystemen mittels verschiedener Diagnostikmethoden. 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 Zustandsbewertung 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. Bernhard Heil * Dipl.-Ing. Michael Keßler * M. Sc. Andrey Mashkin * Dipl.-Ing. Alexander Tröger * Dipl.-Ing. Phillip Walter (bis 31.08.) * 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) und aus großen (offshore) Windparks 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 Regenergie 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. Uwe Macharey * Dipl.-Ing. Thomas Smolka

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:

Dipl.-Ing. Stefan Federlein * Dipl.-Ing. Uwe Zickler

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:

M. Sc. Kittipong Anantavanich * Dr.-Ing. Mikimasa Iwata * Dipl.-Ing. Michael Schmale (bis 28.02.)

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 self-blast circuit breakers such as measurement of the pressure build up, determination of the thermal performance, optical investigations of the electric arc and the gas flow inside the pressure chamber are performed. Both SF₆ which is mostly used today and CO₂ which might be an alternative to SF₆ are investigated. 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 (until 31.10.) * Dipl.-Ing. Robert Dommerque (until 31.03.) * Dipl.-Ing. Bernhard Heil (until 31.01.) * Dipl.-Ing. Jan Christoph Kahlen * Dipl.-Ing. Andreas Kurz M. Sc. Piotr Margiel * Dipl.-Ing. Michael Schwinne * M. Sc. Thanapong Suwanasri (until 31.03.) * Dipl.-Ing. Ming-Chark Tang * M. Sc. Ravindra Kumar Ucchintala

Research Group “Insulation Systems and Diagnosis”

Manager: Dr.-Ing. Bernhard Heil

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. Bernhard Heil * Dipl.-Ing. Michael Keßler * M. Sc. Andrey Mashkin * Dipl.-Ing. Alexander Tröger * Dipl.-Ing. Phillip Walter (until 31.08.) * 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 and by integrating large scale (offshore) windparks. 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. Uwe Macharey * Dipl.-Ing. Thomas Smolka

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:

Dipl.-Ing. Stefan Federlein * 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:

M. Sc. Kittipong Anantavanich * Dr.-Ing. Mikimasa Iwata * Dipl.-Ing. Michael Schmale (until 28.02.)



Kühlungsmechanismen der Heißgasströmung im Auspuff von Selbstblasleistungsschaltern

Während der Schalthandlung eines Selbstblasleistungsschalters wird eine Heißgasströmung innerhalb der Lichtbogenregion erzeugt, welche in das Auspuffvolumen strömt. Zur Optimierung des Schalters ist eine genaue Kenntnis der Kühlungsmechanismen erforderlich. Um die Kühlungsmechanismen wie Strahlung, Konvektion und Konduktion zu analysieren, werden CFD-Simulationen basierend auf dem diskreten Ordinaten Methode Strahlungsmodell durchgeführt und mit Messergebnissen aus einem Referenzexperiment verglichen.

Einleitung

Während des Schaltvorgangs in einem Hochspannungsleistungsschalter, wird durch die vom Lichtbogen emittierte Strahlung Material der Isolierstoffdüse abgebrannt. Der Abbrand verursacht eine Heißgasströmung in die Heizkammer und das Auspuffvolumen des Schalters. Kurz vor dem natürlichen Stromnulldurchgang wird der elektrische Lichtbogen durch relativ kaltes Gas aus der Heizkammer beblasen. Das kalte Gas wird durch das Lichtbogenplasma aufgeheizt und strömt in das Auspuffvolumen. Die dielektrische Festigkeit des Heißgases im Auspuffvolumen ist Gegenstand vieler Veröffentlichungen [1,2]. Eine Abschätzung des Wärmetransports in das Auspuffrohr wurde von Uccchi [4] untersucht. Meier [4] berechnet aus dem Druckanstieg den Energieanteil, der zum Druckanstieg führt. Die hier vorgestellte Untersuchung konzentriert sich auf die verschiedenen Kühlungsmechanismen wie Strahlung und Wärmeleitung.

Experimenteller Aufbau

Der Aufbau des Referenzexperiments ist in Abbildung 1 dargestellt. Der Aufbau besteht aus einer zylinderförmigen Isolierstoffdüse, einem Metallrohr und einem Druckgefäß mit einem Volumen von $V=59$ Litern. Das Metallrohr ist aus Industriestahl

gefertigt, besitzt einen Durchmesser zwischen 16 und 32 mm und ist auf der Außenseite schwarz lackiert. Über einen piezoresistiven Drucksensor wird der Druck innerhalb der Isolierstoffdüse gemessen. Ein zweiter Drucksensor mit einem Meßbereich von 0..7 bar wird zur Druckmessung im Druckgefäß eingesetzt. Der Hochstromkreis des Weil-Dobke Prüfkreises liefert einen sinusförmigen Stromverlauf bis zu 25kA. Der Aufbau wurde im Jahresbericht 2004 detailliert beschrieben. Der elektrische Lichtbogen innerhalb der PTFE Düse wird mit einem dünnen Zünddraht zwischen den Wolfram/Kupfer Elektroden gezündet.

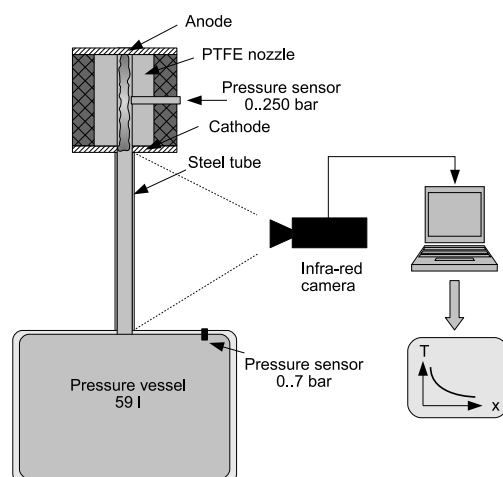


Fig. 1: Experimenteller Aufbau

Die axiale Temperaturverteilung der äußeren Rohroberfläche wird mittels einer

Infrarot-Kamera mit einer optischen Auflösung von 320x240 pixel und einer Bildwiederholrate von 50 Hz gemessen. Der Messbereich beträgt -20..500°C mit einer Genauigkeit von 2 K oder 2 Prozent. Der Emissionsgrad des lackierten Stahlrohres beträgt 0,89. Das Rohr wird vom Heißgas innerhalb von 10 ms aufgeheizt. Nach ca. 200 ms ist die Rohrwand homogen aufgeheizt. Da die Abkühlung des Rohres durch Strahlung und freie Konvektion innerhalb der ersten 200 ms vernachlässigbar ist, kann die im Rohr gespeicherte Energie ΔQ_{tube} wie folgt bestimmt werden:

$$\Delta Q_{tube} = \rho \int_{T_0}^{T(x)} c(T) \cdot dT \cdot dV$$

wobei ρ die Massendichte von Stahl, T_0 die Umgebungstemperatur, $T(x)$ die Temperatur an der axialen Position x und $c(T)$ die spezifische Wärmekapazität von Stahl in Abhängigkeit der Temperatur ist. Die Energie im Gasvolumen wird unter Annahme einer konstanten Massendichte und Temperaturverteilung bestimmt. Die Durchschnittstemperatur kann aus der Massenbilanz und dem gemessenen Druckanstieg p im Druckgefäß berechnet werden:

$$\rho(p, T) = \rho(p_0, T_0) + \frac{\Delta m}{V} \rightarrow T$$

wobei p_0 der Fülldruck des Druckgefäßes und Δm die gesamte abgebrannte Masse ist. Die dem Gas durch den Lichtbogen zugeführte Energie ΔQ_{gas} lässt sich unter Verwendung der Materialdaten des Füllgases berechnen:

$$\Delta Q_{gas} = \rho(p, T)h(p, T)V - \rho(p_0, T_0)h(p_0, T_0)V$$

wobei h die spezifische Energie des Gases ist. In Abbildung 2 ist der zeitliche Verlauf des Druckanstiegs im Druckgefäß dargestellt.

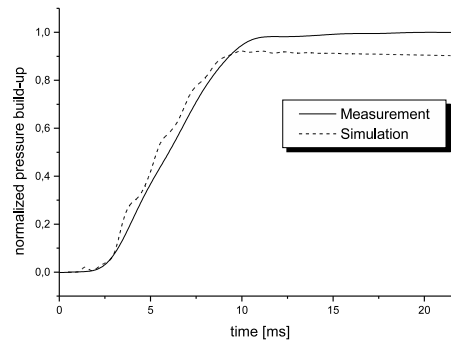


Fig. 2: pressure inside the pressure vessel

CFD-Simulation

Das numerische Modell des elektrischen Lichtbogens und der Gasströmung basiert auf den Erhaltungsgleichungen der Strömungsmechanik gekoppelt mit den Maxwell'schen Gleichungen und der Strahlungstransportgleichung (RTE). Als Strahlungsmodell wird die diskrete Ordinaten Methode eingesetzt. Turbulenz wird mit Hilfe des standard $k - \epsilon$ -Modells berücksichtigt. Für das Gasplasma wird das lokale thermodynamische Gleichgewicht (LTE) angenommen. Die thermodynamischen Eigenschaften sowie die Transportgrößen der Gase werden wie unter [5] beschrieben als Funktion der Temperatur und des Druckes berechnet. Das elektrische Potential φ wird über eine Laplace-Gleichung bestimmt. Die Ringelektrode (Kathode) wird als Gas mit hoher elektrischer Leitfähigkeit modelliert. Der elektrische Strom wird an der Anode eingepreßt. Die Feststoffe werden als strahlungsundurchlässig angenommen, die Strahlung wird vollständig an der Rohrrinnenwand absorbiert. Die Materialdaten der Feststoffe werden bis auf die spezifische Wärmekapazität konstant gesetzt. Die transiente Simulation wird mit konstantem Druck und einem parabelförmigen Temperaturprofil zwischen den Elektroden initialisiert. Die Temperatur des elektrischen Lichtbogens beträgt näherungsweise

se 21000K, die der den Lichtbogen umgebenden Dampfschicht 3500K. Innerhalb des Stahlrohres kühlt sich das Gas ab. Die Energie ΔQ_{tube} , die vom Heißgas an das Rohr abgegeben wird, berechnet sich wie folgt:

$$\Delta Q_{tube} = \rho \cdot \sum_{i=1}^n h_i \cdot V_i$$

$$h_i = \int_{T_0}^{T_i} c_p(T) dT$$

wobei n die Anzahl der Zellen, V_i das Volumen der Zelle i , T_i die Temperatur der Zelle i ist. Der Anteil ΔQ_{rad} der Energie, der durch Strahlung das Rohr aufheizt, kann aus der Strahlungsflussdichte F an der Innenoberfläche des Rohres berechnet werden:

$$\Delta Q_{rad} = 2\pi R_{tube} \int_0^{t_{max}} \int_0^{l_{tube}} F dx dt$$

l_{tube} ist die Länge des Rohres, R_{tube} der Innendurchmesser t_{max} die Zeit, in der das Rohr der Heißgasströmung ausgesetzt wird.

Ergebnisse

Sowohl Simulationen als auch experimentelle Untersuchungen wurden für verschiedene Düsendurchmesser, Rohrdurchmesser und Rohrlängen durchgeführt. In Abbildung 3 ist der normierte Druckaufbau innerhalb der PTFE-Düse dargestellt. Messung und Simulation liegen in guter Übereinstimmung, der simulierte Druckaufbau ist etwa 10% geringer als der gemessene Wert. Der gemessene Stromverlauf wird als Eingangsgröße der Simulation genutzt. Die Brennspannung ist in der Simulation zu gering, wodurch die gesamte eingespeiste Energie in der Simulation etwa 20 % zu gering ist. Abbildung 4 zeigt einen Vergleich der gemessenen und simulierten axialen Temperaturverteilung des Metallrohres nach 200 ms. Die Übereinstimmung ist gut, die berechnete Temperatur weicht nur innerhalb der ersten 5 cm signifikant von der Messung ab.

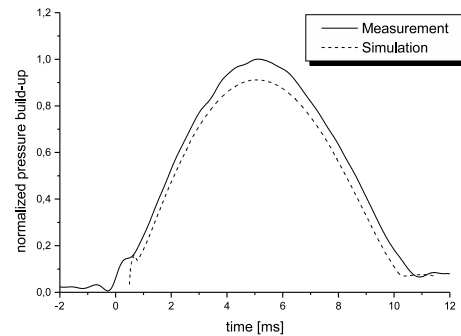


Fig. 3: Druckaufbau in der PTFE-Düse

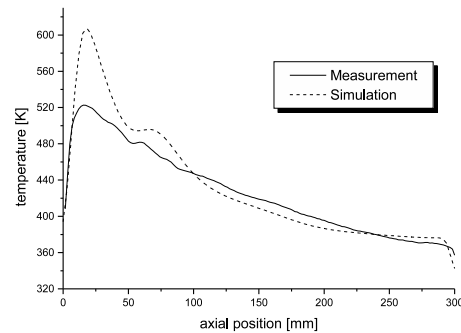


Fig. 4: gemessene und simulierte Temperaturverteilung

Die gesamte in das System eingespeiste Energie Q_{total} lässt sich aus der Lichtbogenbrennspannung U_{arc} , dem elektrischen Strom I_{arc} und der Lichtbogenzeitdauer t_{arc} bestimmen:

$$Q_{total} = \int_0^{t_{arc}} U_{arc} \cdot I_{arc} dt$$

In Abbildung 5 ist die Energieverteilung für Simulation und Experiment dargestellt. Die Energie, die vom Metallrohr aufgenommen wurde, wird aus der axialen Temperaturverteilung berechnet. Mit Hilfe der CFD-Simulation ist es möglich, eine weitere Unterteilung in Strahlung und Wärmeleitung vorzunehmen. Sowohl im Experiment als auch in der Simulation werden etwa 30 Prozent der im Lichtbogen umgesetzten Energie vom Metallrohr aufgenommen. Etwa 62 Prozent dieses Anteils stammen aus Strahlungsleistung. Etwa 42 Prozent der Gesamtenergie führt zum Druckaufbau im Druck-

gefäß. Die restlichen 30 Prozent beinhalten die Energieanteile, die zur Aufheizung des Druckgefäßes, der Elektroden und zum Abbrand der PTFE-Düse umgesetzt werden.

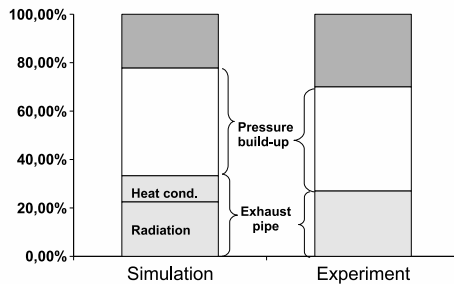


Fig. 5: Energieverteilung

Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der Untersuchung wurde eine Methode zur Simulation der Energietransportmechanismen im Auspuffrohr von SF₆ Selbstblasleistungsschaltern entwickelt. Die magnetohydrodynamische Simulationen, gekoppelt mit dem DOM Strahlungsmodell, wurden anhand von Messergebnissen aus einem Referenz-Experiment validiert und zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Messungen. Die Simulation kann als Werkzeug für die detaillierte Analyse der Kühlungsmechanismen eingesetzt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Heißgasabkühlung vom Strahlungstransport dominiert wird.

Danksagung

Wir danken der ABB Switzerland Ltd, Corporate Research für die finanzielle Unterstützung und fachliche Diskussion. Wir danken Vladimir Aubrecht, Brno University of Technology, für die Zurverfügungstellung von Absorptionskoeffizienten von SF₆ und PTFE.

Literatur

- [1] Hayashi Y., Watanabe M. et. al.: *Dynamics of the exhaust gas generated by arc extinction*, Journal of Applied Physics, Vol. 90, No. 10, pp. 4966-4972, 2001
- [2] Yousfi M., Robin-Jouan Ph., Kanzari Z.: *Breakdown Electric Field Calculations of Hot SF₆ for High Voltage Circuit Breaker Applications*, IEEE Trans. On Dielec. and Electr. Insulation, Vol. 12, No. 6, 2005
- [3] Uchii T., Kawano H., Kato N., Nishiwaki S.: *Investigation On Breakdown Phenomena Caused By Hot Gas Flow In A High Voltage SF₆ Gas Circuit Breaker*, XV Int. Conf. on Gas Discharges and their Appl., Toulouse, 2004
- [4] Meier R., et al: *Mass-Spectroscopic Study of the Influence of Nozzle Material on High-Pressure SF₆ Arcs*, Appl. Phys. B 48, pp. 187-211, 1989
- [5] Speckhofer G., Gilles R., Smith W., Bures M.: *A consistent set of thermodynamic properties and transport coefficients for high temperature plasmas*, Proc. 14th Int. Symp. On Plasma Chemistry, Vol. 1, pp. 269-74, 1999

Kontakt

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

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

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

Cooling mechanisms of the hot gas flow in the exhaust of self-blast circuit breakers

During the switching process of self-blast circuit breakers a flow of hot gas generated inside the arcing chamber streams into the exhaust volume. In order to optimise the circuit breaker with regard to insulation, the understanding of the cooling mechanisms is essential. In order to analyse the different cooling mechanisms like radiation, convection and turbulence, CFD-simulations based on the discrete ordinate method (DOM) radiation model are performed and compared to the experimental results obtained from a reference test set-up consisting of a PTFE nozzle, a metal tube and a pressure vessel.

Introduction

During the switching process of high voltage self-blast circuit breakers insulating material of the nozzle is ablated due to radiation of the hot electric arc. The ablation causes a flow of hot gas both into the pressure chamber and into the exhaust volume. A short time before the natural current zero crossing the electric arc is blown with comparably cold gas out of the pressure chamber which is heated up by the arc plasma and turned into a low-density hot gas. Most of previous publications on this topic deal with the dielectric properties of the insulating gas and breakdown mechanisms in case of failure [1,2]. An estimation of the heat transfer to the exhaust tube was presented by Uchii [3]. Meier [4] measured the pressure build-up inside a pressure vessel and calculated the share of energy which leads to the pressure rise. The investigations presented in this report focus on the different cooling mechanisms like radiation and heat conduction into the exhaust pipe.

Experimental test set-up

The experimental test set-up is shown in figure 1. It consists of a cylindrically shaped PTFE nozzle, a metal tube of 10..30 cm length and a pressure vessel with a volume of $V=59$ litres. The metal tube is made of standard industrial steel with a diameter of 16..32 mm and varnished black at the outer

surface. A piezo-capacitive pressure sensor with a linear range up to 250 bar is applied for the pressure measurement inside the PTFE nozzle. In order to calculate the energy heating up the gas inside the vessel the pressure is measured by a second sensor with a range of 0..7 bar. The high current circuit of the Weil-Dobke test set-up presented in annual report 2004 provides a sinusoidal current of up to 25 kA. The electric arc inside the PTFE nozzle is ignited by a thin copper wire between the two tungsten/copper electrodes.

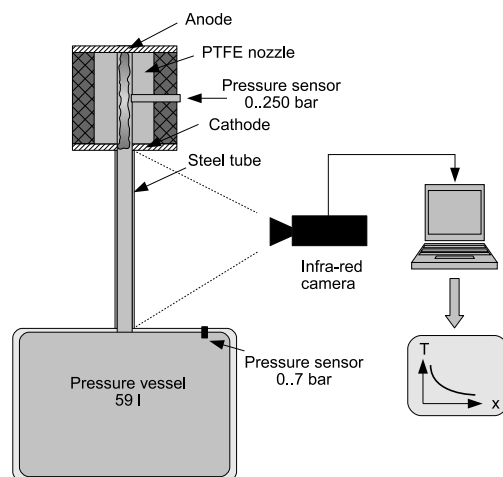


Fig. 1: experimental test set-up

The temperature distribution at the outer surface of the metal tube is measured using an infra-red camera with a resolution of 320x240 pixel and a frame rate of 50 Hz. The measurement range is -20..500 °C with

an accuracy of 2 percent or 2 °C. The thermal sensitivity is less than 0.1 °C at a temperature of 30 °C. The emissivity of the varnished steel tube equals 0.89. The tube is heated up by the hot gas flow within 10 ms. After 200 ms the wall of the tube is heated up uniformly. As cooling effects like radiation and free convection are negligible during the first 200 ms after the switching operation, the change of heat energy ΔQ_{tube} of the metal tube can be determined as follows:

$$\Delta Q_{tube} = \rho \int_{T_0}^{T(x)} c(T) \cdot dT \cdot dV$$

where ρ is the mass density of steel, T_0 is the ambient temperature, $T(x)$ is the temperature at the axial position x and $c(T)$ is the specific heat capacity of steel depending on the temperature. The energy inside the gas is calculated assuming a constant mass density and uniform temperature distribution. Therefore the average temperature can be determined from the mass conservation and the measured pressure p in the exhaust volume:

$$\rho(p, T) = \rho(p_0, T_0) + \frac{\Delta m}{V} \rightarrow T$$

where p_0 is the filling pressure of the test set-up and Δm is the total ablated mass of PTFE. Under these assumptions the energy input to the hot gas ΔQ_{gas} can be calculated from the material properties of SF_6 :

$$\Delta Q_{gas} = \rho(p, T)h(p, T)V - \rho(p_0, T_0)h(p_0, T_0)V$$

where h is the specific enthalpy of air. In figure 2 an example of the pressure measurement inside the exhaust volume is given. The oscillations which can be observed in the measurement are caused by pressure waves inside the vessel and are not relevant for the evaluation of the energy. Therefore only the constant component is considered in the calculations.

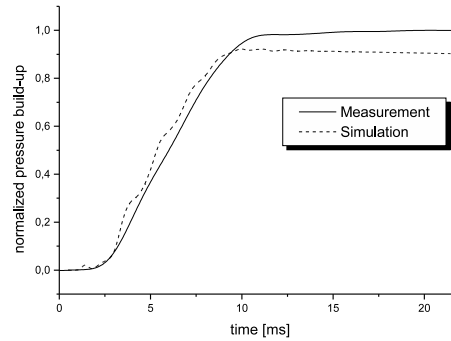


Fig. 2: pressure inside the pressure vessel

CFD-Simulation

The numerical model for the electric arc and the gas flow consists of conservation equations of fluid dynamics coupled with Maxwell's equations and the radiative transport equation (RTE). The DOM radiation model is used. In order to consider turbulence effects the standard k- ϵ -model is applied. The gas plasma is assumed to be in local thermodynamic equilibrium (LTE). The thermodynamic and transport properties of air and PTFE vapour were calculated as functions of temperature and pressure as described in [5]. For the electrical potential ϕ steady state conditions are assumed. Therefore a Laplace equation is solved for ϕ . The ring electrode (cathode) is modeled as a gas with high electric conductivity. The electric current is imposed at the anode. The solid volumes are set as opaque and it is assumed that the radiation is absorbed at the interfaces between fluid and solid material. Inside the solids only the differential equations for heat transfer and electric potential are solved. The properties of solid materials like heat and electrical conductivity, mass density and heat capacity are set to constant values except the specific heat capacity of steel that depends on the temperature. The transient simulation is initialized with constant pressure and a column of hot gas with a parabolic radial temperature profile be-

tween the electrodes representing the electric arc. The temperature in the centre of the electric arc is approximately 21000K and the temperature of the surrounding PTFE vapour layer is about 3500K. In the exhaust pipe the hot gas flow is cooled down. The energy ΔQ_{tube} which heats up the steel tube is calculated as shown in the following equation:

$$\Delta Q_{tube} = \rho \cdot \sum_{i=1}^n h_i \cdot V_i$$

$$h_i = \int_{T_0}^{T_i} c_p(T) dT$$

where n is the number of cells, V_i is the volume of the cell i , T_i is the temperature of each cell i . The rate of energy ΔQ_{rad} heating up the tube by radiation can be calculated from the radiation flux density F at the inner boundary of the exhaust pipe:

$$\Delta Q_{rad} = 2\pi R_{tube} \int_0^{t_{max}} \int_0^{l_{tube}} F dx dt$$

l_{tube} is the length of the tube, R_{tube} the inner radius and t_{max} is the time the tube is exposed to the hot gas flow.

Results

Simulations and experimental investigations were carried out for different nozzle diameters, tube diameters and tube lengths. A typical example of the normalised pressure build-up inside the PTFE nozzle is shown in figure 3. The measured and the calculated pressure are in good correlation although the simulation underestimates the value by approximately 10 percent. Although the measured arc current was used as input data, the input energy of the simulation is about 20 percent lower than the energy in the experiment due to a reduced arc voltage in the simulation. In figure 4 a comparison between the measured and simulated axial temperature distribution of the exhaust tube's outer surface after 200 ms is given. The correlation is sufficiently good even though the calculated temperature is overestimated within the first 5 cm of the tube.

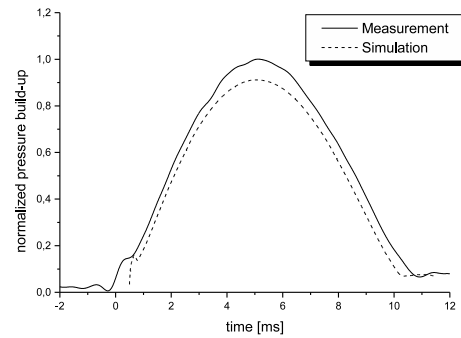


Fig. 3: measured and simulated pressure in the PTFE nozzle

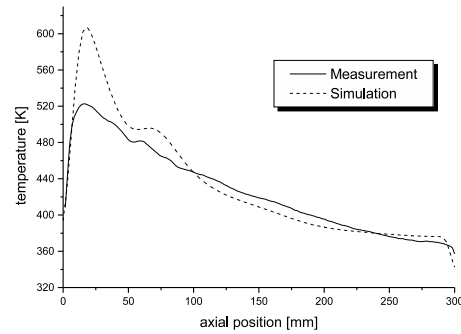


Fig. 4: measured and simulated axial temperature distribution

The total amount of energy Q_{total} applied to the test arrangement is calculated from the arc voltage U_{arc} , the arc current I_{arc} and the arcing time t_{arc} :

$$Q_{total} = \int_0^{t_{arc}} U_{arc} \cdot I_{arc} dt$$

In figure 5 the percentage parts of the total energy are shown for both simulation and experiment. The energy of the exhaust pipe is calculated from the axial temperature distribution of the experiment. Using the results from the CFD-simulation it is possible to distinguish between radiative heat transfer and heat conduction. Both in simulation and experiment approximately 30 percent of the energy remains in the exhaust pipe. About 68 percent of this portion is caused by radiation. The amount of energy which causes the pressure build-up in the exhaust volume is around 42 percent.

The remaining 30 percent include the energy which heats up the pressure vessel and the electrodes as well as the energy needed to vapourise PTFE.

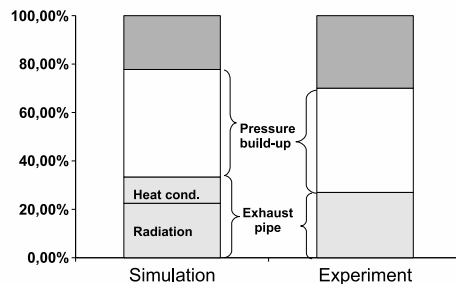


Fig. 5: distribution of energy

Conclusion and outlook

A method to simulate the heat transfer mechanisms in the exhaust pipe of a self-blast circuit breaker is presented. The magneto-hydrodynamic simulation coupled with the DOM radiation model is tested and validated in comparison to an experimental reference test set-up and shows a sufficient accuracy. The simulations can be used as a tool in order to analyse the different cooling mechanisms of the hot gas flow. The results presented above show that radiative heat transfer contributes significantly to the cooling process.

Acknowledgement

We are grateful to the ABB Switzerland Ltd, Corporate Research for the financial and advisory support. We wish to thank Vladimir Aubrecht, Brno University of Technology, for contributing absorption coefficients of SF₆ and PTFE.

References

- [1] Hayashi Y., Watanabe M. et. al.: *Dynamics of the exhaust gas generated*

by arc extinction, Journal of Applied Physics, Vol. 90, No. 10, pp. 4966-4972, 2001

- [2] Yousfi M., Robin-Jouan Ph., Kanzari Z.: *Breakdown Electric Field Calculations of Hot SF₆ for High Voltage Circuit Breaker Applications*, IEEE Trans. On Dielec. and Electr. Insulation, Vol. 12, No. 6, 2005
- [3] Uchii T., Kawano H., Kato N., Nishiwaki S.: *Investigation On Breakdown Phenomena Caused By Hot Gas Flow In A High Voltage SF₆ Gas Circuit Breaker*, XV Int. Conf. on Gas Discharges and their Appl., Toulouse, 2004
- [4] Meier R., Kneubhl F. K., Schütz H. J.: *Mass-Spectroscopic Study of the Influence of Nozzle Material on High-Pressure SF₆ Arcs*, Appl. Phys. B 48, pp. 187-211, 1989
- [5] Speckhofer G., Gilles R., Smith W., Bures M.: *A consistent set of thermodynamic properties and transport coefficients for high temperature plasmas*, Proc. 14th Int. Symp. On Plasma Chemistry, Vol. 1, pp. 269-74, 1999

Contact

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

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

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

den Strahlungstransportgleichungen gekoppelt sind. Aufgrund der hohen, im Lichtbogen vorherrschenden, Temperaturen werden Strahlungsmodelle verwendet. Zur Simulation während der Hochstromphase wird die Diskrete Ordinaten Methode (DOM), zur Simulation um den Stromnulldurchgang wird die Methode der Nettoemissionskoeffizienten verwendet. Das standard k - ϵ -Modell wird verwendet, um Turbulenzeffekte zu berücksichtigen. Die Modellgleichungen werden iterativ über die vermaschte Geometrie des Modellschalters gelöst [3]. Die Analyse der Simulationsergebnisse liefert einen detaillierten Einblick in die Vorgänge während des Abschaltprozesses (z. B. die chemische Zusammensetzung des Gases).

Ergebnisse

Die Abschaltleistung für CO_2 wurde experimentell mit einer Vorgehensweise nach [2] bestimmt. Für alle Experimente wurden identische Modellschalter verwendet, lediglich die Größe des Heizvolumens wurde (in Abhängigkeit des Adiabatenkoeffizienten von CO_2 und SF_6) variiert, um einen identischen Druckaufbau zu erhalten. Der Fülldruck wurde auf 5 bar festgelegt. Zusätzlich zur Messung der Spannung (U) und des Stroms (I) während des Abschaltvorganges wurde der Druckaufbau (Δp) im Heizvolumen gemessen.

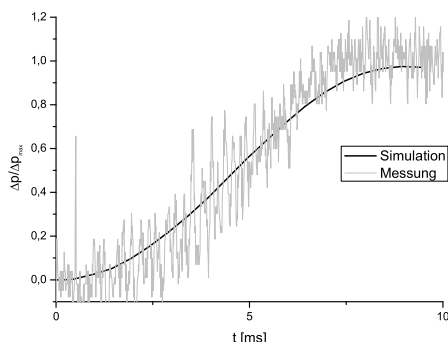


Abb. 2: Druckaufbau im Heizvolumen

Ein Vergleich der simulierten und gemessenen Werte für U und Δp liefert eine zufriedenstellende Übereinstimmung. Abbildung 2 stellt beispielhaft den normierten Druckaufbau im Heizvolumen der Messung und der Simulation gegenüber. Mit dieser Untersuchung ist es möglich, CO_2 als alternatives Löschgas zu beurteilen. Zum jetzigen Zeitpunkt scheint eine Verwendung von CO_2 als alternatives Löschgas zu SF_6 möglich. Die thermische Abschaltleistung ist jedoch schlechter als die thermische Abschaltleistung von SF_6 .

Ausblick

Um den Abschaltprozesse genauer zu verstehen sind weitere Untersuchungen erforderlich. Mit diesen Untersuchungen sollen die Ursachen für die reduzierte Abschaltleistung quantifiziert werden. Basierend auf den Ergebnissen dieser Untersuchungen wird eine Methodik entwickelt, die Abschaltleistung zu erhöhen.

Quellen

- [1] IPCC: 4 Atmospheric Chemistry and Greenhouse Gases, 2001
- [2] E. Slamecka: Prüfung von Hochspannungs-Leistungsschaltern, 1966
- [3] Versteeg, H.,K. ; Malalasekera, W.: An Introduction to Computational Fluid Dynamics, 1995

Kontakt

Dipl.-Ing. Andreas Kurz
kurz@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-90 270

Dipl.-Ing. Piotr Margiel
piotr@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94 916

Experimental and theoretical investigation on the thermal interruption capability of CO₂

Due to the outstanding electrical strength and excellent thermal properties sulphur hexafluoride (SF₆) is the preferred arc quenching gas for gas circuit breakers. However, SF₆ has a strong global warming potential (GWP), which is estimated to be 22200 times greater (per unit mass) than that of CO₂ [1]. Therefore it is essential to search for substitutes with lower environmental impact. The suitability of the gas can be proved by experiments and simulations. Both methods are considered here.

Introduction

High voltage self-blast circuit breakers based on SF₆ are important safety elements in electric transmission systems. SF₆ self-blast circuit breakers use the energy converted in the arc in order to produce a pressure gradient. This pressure gradient is necessary to initiate a cooling flux, which blows the electric arc around current zero time period. The cooling flux generated this way ensures a quenching of the arc and a reestablishing of the dielectric strength after current zero. A successful interruption not only depends on the pressure gradient, but also on the quenching gas temperature and the chemical composition. The quenching gas temperature is mainly influenced by the mixing behaviour in the heating chamber of the breaker. That is the reason why only a combination out of experimental investigations on the interruption capability and simulations leads to a satisfactory understanding of the quenching gases quality.

Experimental test setup

The investigations on the interruption capability are carried out using a Weil-Dobke test setup [2] as shown in figure 1. The synthetic test setup consists of two oscillating L-C-circuits. On the one hand the high current part, which provides the main current of 50Hz and up to 25 kA_{peak} to the test object and on the other hand the injection circuit. This injection cir-

cuit is fed by a high voltage capacitance (max. charge voltage 54kV). In this way the arc in the model breaker around current zero behaves in principle as under network conditions. All experiments are performed by using a model breaker, which was designed at the IFHT and shows a behaviour similar to real circuit breakers.

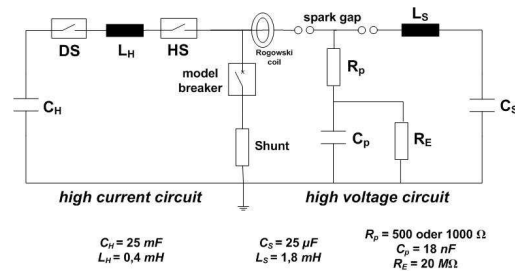


Fig. 1: Sketch of the test setup

CFD-Simulation

The numerical model for the arc plasma and the gas flow in a gas circuit breaker consists of the conservation equations of fluid dynamics coupled with Maxwell's equations and the radiative transport equations. Due to the high temperature in the arc radiation models are used. For the simulation of the high-current time period the discrete ordinate method (DOM) is used and to simulate the radiation during the current zero time period the method of netemission coefficients is applied. The standard k-ε model is applied in order to consider turbulence. The model equations are solved iteratively on a mesh that resolves the geometry of the

breaker model [3]. The analysis of the simulation results gives a detailed insight into the interruption process e.g. the chemical composition of the quenching gas during an interruption.

Results

The interruption capability was determined for CO₂ by using an experimental method as shown in [2]. For all experiments identical model breakers were used only the size of the heating volume was varied (depending on the adiabatic coefficient of CO₂ and SF₆) in order to lead to the same blow gas pressure. The filling pressure of the model breaker was set to 5 bar. In addition to the measurements of the voltage (U) and the current (I) during an interruption process the pressure build up (p) in the heating volume was measured as well. A comparison of the simulated and measured values U and p shows a satisfactory agreement. As an example of the simulation quality figure 2 shows the normalised pressure build up measured and simulated in the heating volume of the model breaker. In this investigation CO₂ is used as quenching gas.

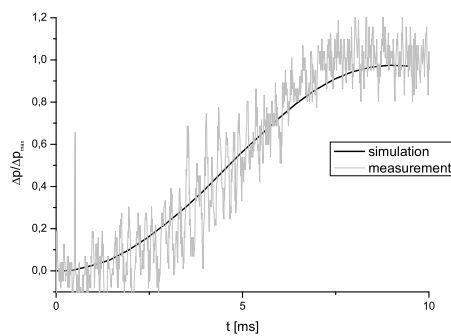


Fig. 2: Pressure build up in the heating volume
With this investigation a judgement of using CO₂ as an alternative quenching gas is pos-

sible. Hitherto CO₂ seems to be a possible alternative to pure SF₆. However, the thermal interruption capability is worse than the interruption capability of SF₆.

Outlook

In order to understand the interruption process of CO₂ in detail more investigations are necessary. With these investigations it is aimed to quantify the causes of the reduced interruption capability in comparison pure SF₆. Based on these results a method to increase the interruption capability will be derived.

References

- [1] IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change: 4 Atmospheric Chemistry and Greenhouse Gases, 2001
- [2] E. Slamecka: Prüfung von Hochspannungs-Leistungsschaltern, Springer-Verlag, Berlin, 1966
- [3] Versteeg, H.,K. ; Malalasekera, W.: An Introduction to Computational Fluid Dynamics. Harlow, England : Addison Wesley Longman Limited, 1995, ISBN 0-582-21884-5

Contact

Dipl.-Ing. Andreas Kurz
kurz@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-90 270

Dipl.-Ing. Piotr Margiel
piotr@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94 916

Automatisierte Prüfung von Hochspannungskabelmuffen mittels Ultraschall

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wird ein Ultraschallprüfverfahren zur Zustandsbewertung von Hochspannungskabelmuffen entwickelt. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Auswertung und Bewertung der erlangten Befunde, um das elektrische Isolationsvermögen für die elektrische Stückprüfungen prognostizieren zu können. Das Verfahren wird als präselektiver Prüfprozess verwendet, welches mit Hilfe einer Datenbasis elektrisch kritische Befunde durch Korrelation mit der elektrischen Prüfung ermittelt. Ziel ist, eine Optimierung von Herstellungsparametern zu ermöglichen bei gleichzeitiger Verbesserung der Prognosequalität. Im Folgenden wird der Prozess beschrieben und zwei Befunde exemplarisch diskutiert.

Einleitung

Isolationssystemen kommt auf dem Gebiet der Energietechnik große Bedeutung zu. Deshalb ist es notwendig, Prozesse und Verfahren zur Verfügung zu stellen, mit denen die Qualität der Isolationsmaterialien bestimmt werden kann. Die Ultraschalldiagnostik als nicht destruktives und ortsauflösendes Verfahren wird auf ihre Anwendbarkeit hin untersucht. Typische Anwendungsmöglichkeiten sind die Detektion von Einschlüssen. Die Zustandsbewertung von Hochspannungskabelmuffen mittels Ultraschall ist so weit fortgeschritten, dass durch den Aufbau einer Datenbasis die Korrelation zwischen Isolationsvermögen und einer Ultraschallprognose ermittelt und gleichzeitig die Prognosequalität verbessert wird.

Prüfprozess

Abb. 1 zeigt das Flussdiagramm der Ultraschallprüfung. Nach der Produktion des Muffenisolationskörpers wird ein *Dektionsscan* mit großer Schrittweite von $750\ \mu\text{m}$ (Abstand zwischen benachbarten Messpunkten) durchgeführt. Nach einer 3-dimensionalen Signalverarbeitung mittels Gauß- und Laplacefilterung zur Verbesserung des Signal-Rausch-Abstands, werden Stellen, an denen erhöhte Schalldruckamplituden gemessen wurden, von einem De-

tektionsalgorithmus identifiziert. Die Auswertung des sich anschließenden *Detail-Scans* an den detektierten Positionen mit einer Schrittweite von $200\ \mu\text{m}$ erlaubt eine genauere Charakterisierung der gefundenen Objekte hinsichtlich Tiefenlage, Ausdehnung und Stoffart (siehe unten). Automatisch wird ein Prüfbericht für die jeweilige Muffe erstellt, die eine Prognose für das Ergebnis der elektrischen Prüfung enthält, welcher im Anschluss durchgeführt wird. Ziel ist es, eine Optimierung von Produktionsparametern zu ermöglichen wie sie in Abb. 1 dargestellt ist.

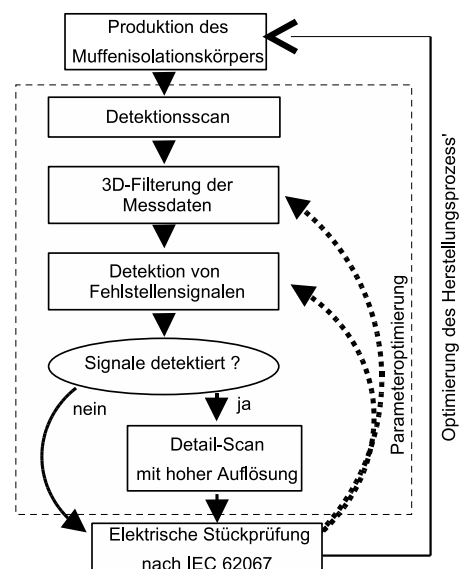


Abb. 1: Flussdiagramm des Prüfprozess'

Ergebnisse

In Abb. 2 sind exemplarisch Isobaren in *Detail-Scans* zweier Fehlstellen dargestellt: einer unkritischen (A) und einer kritischen (B). Alle Visualisierungsparameter und Ultraschallparameter sind identisch gewählt. Beide Einschlüsse befinden sich im Isolationsmaterial oberhalb des hochspannungsseitigen Feldsteuerelements der Muffe: Einschluss A in 8 mm Tiefe und Einschluss B in 25 mm Tiefe unterhalb der Oberfläche.

Es ist zu sehen, dass die Signalausdehnung von Signal B (17,2 mm * 19,8 mm) deutlich größer ist als die von Signal A (10,2 mm * 10,2 mm). Es muss berücksichtigt werden, dass die Signalausdehnung nicht identisch mit der Einschlussgröße ist, da der Durchmesser des Prüfkopfes (10 mm) größer ist als die Schrittweite der Messung (200 µm). Bedingt dadurch wird die Fehlstellenposition während der Messung mehrfach vom Prüfkopf abgetastet. Die wahre Ausdehnung der Einschlüsse muss folglich deutlich kleiner sein. Auch die maximale Schalldruckamplitude kann dem Detailscan entnommen werden, die im Fall B annähernd doppelt so hoch ist wie im Fall A. Damit ist Einschluss B ein deutlich stärkerer Reflektor als Einschluss A.

Neben Schalldruckamplitude und Tiefenlage ist das Vorzeichen des Schalldrucks von Interesse, welche Abb. 2 nicht entnommen werden kann. Es zeigt sich, dass die Vorzeichen der maximal auftretenden Schalldruckamplituden beider Signale unterschiedlich sind, was darauf hindeutet, dass sie aus verschiedenen Materialien bestehen. Der akustische Widerstand von Einschluss A ist größer und der von Einschluss B kleiner als der des umgebenden EPDMs. Da Gase einen signifikant geringeren akustischen Widerstand haben als EPDM, kann davon ausgegangen werden, dass Einschluss B ein Gaseinschluss

ist, was durch Zerteilen der Muffe nach nicht bestandenen elektrischen Tests bestätigt werden konnte (Größe von 5 mm * 7 mm). Es liegt nahe, dass Signal A durch ein Span aus halbleitendem Material der Feldsteuerelemente besteht, da dieses Material eine höhere Schallimpedanz aufweist. Unkritische Einschlüsse sind jedoch schwierig zu verifizieren, da solche Muffen nach Bestehen des elektrischen Tests in Kabelsysteme installiert werden.

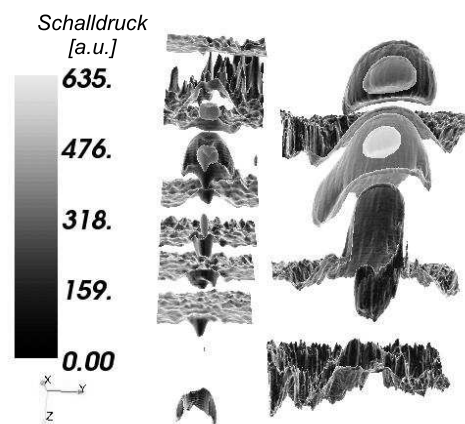


Abb. 2: Isobaren des absoluten Schalldrucks in einem *Detail-Scan* eines unkritischen Einschlusses A (links) und eines kritischen Einschlusses B (rechts)

Quellen

- [1] T. Wirz, P. Walter, C. Cornelissen, A. Schnettler: *Automated Ultrasonic Diagnosis for Condition Assessment of Electrical Insulation Systems*, 9th ECNDT 2006

Kontakt

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

Automated Testing of High Voltage Cable Joints Using Ultrasound

In this research project ultrasonic diagnosis is used to perform condition assessment on power cable joints. Focus is on the evaluation and validation of diagnostic results to forecast the electrical insulation strength. An ultrasonic procedure is used as a pre-selective testing method that determines electrically critical diagnostic results by correlating them with electric test results using a database. Further aim is to allow an optimisation of production parameters with simultaneous enhancement of prognosis quality. In the following the designed testing process is described and two test results exemplarily discussed.

Introduction

Insulation systems have a major importance in the field of high voltage engineering. Therefore it is necessary to provide measurement processes and methods which are able to assess the condition of insulation materials. Ultrasound diagnosis is investigated as an innovative method for non-destructive and spatial resolved condition assessment. Typical applications of the ultrasonic technique are the detection of flaws as well as the condition evaluation of material interfaces. The condition assessment of high voltage cable joints has reached the level of building up a database to statistically prove the correlation of electrical insulation strength and ultrasonic prognosis for further improving of the prediction quality [1].

Testing Process

Fig. 1 gives an overview about the ultrasonic test procedure. After production of the joint insulation body, a *detection scan* is performed with low resolution using a high step increment of $750 \mu m$ (distance between adjacent measuring points). The data are post-processed by 3-dimensional signal processing using gaussian und laplacian filters to ensure a reliable detection of flaw signals. After a detection algorithm has identified these regions of increased sound pressure, the transducer is repositioned and a *detail scan* is initialised using a high resolution of $200 \mu m$. This measurement allows an enhanced characterisation of the detected objects concerning size and position (see below). Subsequent to detail scans, a report sheet for the sample is automatically prepared including the joint's diagnosis and a prognosis for the electrical test, which is performed afterwards. The object is to achieve a faster optimisation of production parameters as shown in the Fig. 1.

tioned and a *detail scan* is initialised using a high resolution of $200 \mu m$. This measurement allows an enhanced characterisation of the detected objects concerning size and position (see below). Subsequent to detail scans, a report sheet for the sample is automatically prepared including the joint's diagnosis and a prognosis for the electrical test, which is performed afterwards. The object is to achieve a faster optimisation of production parameters as shown in the Fig. 1.

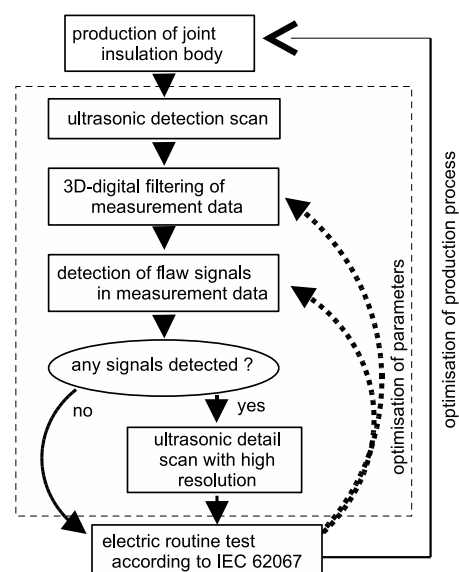


Fig. 1: Flowchart of testing procedure

Results

In Fig. 2, isobars of two *detail scans* are shown as examples for uncritical (A) and critical (B) flaws. The step increment, the visualisation parameters as well as the ultrasonic testing parameters are chosen identically. Both flaws are located in the insulating layer above the inner semiconductive element in different depth positions and joints. Flaw A is located 8 mm below the joint's surface, whereas flaw B is located 25 mm below the surface.

It can be seen, that the spatial dimension of signal B is significantly larger (17,2 mm * 19,8 mm) than that of signal A (10,2 mm * 10,2 mm). Here it has to be kept in mind that the flaw signal size is not equal to the real flaw size. This is caused by the fact, that the transducer size (10 mm) exceeds the step increment. So every position is exposed to the transducer's sonic field at multiple measuring points during the scanning process. So the real size of the flaws are smaller. Also the highest occurring sound pressure can be taken from the detail scan. The maximum pressure of signal B is nearly twice as high as of signal A. Due to this fact signal B is a significantly stronger sonic reflector.

Beneath amplitude and depth especially the sign of the amplitude - which cannot be seen in the detail scan in Fig. 2, as there are only shown the absolute values of the sound pressures - is of interest, since it can provide information about the inhomogeneity's material. The analysis of the maximum reflected sound amplitude of both signals A and B shows that the signals signs are differing. This indicates, that both flaws have to be of different material. The acoustic impedance of the small flaw A is higher and of the large flaw B is lower than the surrounding EPDM.

Because gases have significantly lower acoustic impedance than EPDM, flaw B is

suggested to be a gas void. It could be confirmed by cutting the failed joint that signal B was caused by a gaseous inclusion with the size of 5 mm * 7 mm. It stands to reason that the uncritical flaw A consist of a small piece of semiconductive material from the field control element, since carbonised EPDM has a higher density than pure EPDM, which results in a higher acoustic impedance. Uncritical inclusions are difficult to verify, because the joint will be installed in cable systems and no further investigations are possible.

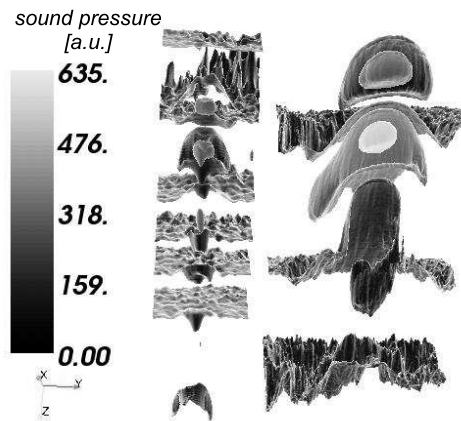


Fig. 2: Isobars of the absolute sound pressure in *detail scans* of an uncritical flaw signal A (left), a critical flaw signal B (right)

References

- [1] T.Wirz, P.Walter, C.Cornelissen, A.Schnettler: *Automated Ultrasonic Diagnosis for Condition Assessment of Electrical Insulation Systems*, 9th ECNDT 2006

Contact

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

Untersuchungen des Alterungsverhaltens von nanostrukturierten superhydrophoben Isolierstoffoberflächen unter simultanen elektrischen und klimatischen Beanspruchungen

Das elektrische Verhalten von Isolierstoffen wird im großen Umfang durch die Multi-Stress-Bedingungen im Betrieb beeinflusst. Zur Verlängerung der Lebensdauer von Hochspannungsisoliersystemen ist es deshalb von besonderer Bedeutung, das Oberflächenverhalten von Materialien unter simultanen elektrischen und klimatischen Beanspruchungen zu verbessern. Mit Hilfe von neu entwickelten Oberflächenmodifikationen kann nun die selbstreinigende Superhydrophobieeigenschaft auf Isolierstoffe realisiert werden, wobei die Untersuchungen zum Alterungsverhalten der modifizierten Isolierstoffoberflächen im Rahmen dieser Arbeit noch durchgeführt werden sollen.

Einleitung

In einer Vielzahl von Betriebsmitteln der Energietechnik stellen die Grenzflächen stets kritische Schwachstellen bei elektrischer Beanspruchung dar. Hinsichtlich ihrer Erscheinungsform lassen sie sich in innere und äußere Grenzflächen unterteilen. Um der Fremdschichtproblematik an äußeren Grenzflächen entgegen zu wirken, werden häufig polymere Werkstoffe, z.B. Silikonelastomer (SiE) in den betroffenen Isoliersystemen verwendet. Es weist, neben Reduzierung des Gewichts sowie Erleichterung des Produktionsprozesses, eine intrinsische Hydrophobieeigenschaft der Oberflächen auf. Somit können die aufgesetzten Wassertropfen aufgrund eines Randwinkels von ca. 90° leicht von den Oberflächen entfernt werden. Als ein vielversprechender Ansatz zeichnet sich aber die superhydrophobe Isolierstoffoberfläche durch noch geringere Oberflächenspannung aus, die auf der Oberflächenhydrophobierung und Nanostrukturierung beruht und besonders zu einem selbstreinigenden Effekt führt. Demzufolge kann die Entstehung von Fremdschichten entlang der Isolierstrecke deut-

lich verhindert werden. Es deutet gleichzeitig darauf hin, dass in diesem Fall ein verlangsamter Alterungsprozess der Isolierstoffoberfläche zu erwarten ist.

Experimentelle Untersuchungen

Untersucht werden, neben den Referenzmaterialien, oberflächenmodifizierte zylindrische Modellprüfkörper, die einem quasi-homogenen elektrischen Feld ausgesetzt werden. Um die klimatischen Beanspruchungen in Bezug auf verschiedene Anwendungsbereiche nachbilden zu können, werden die feuchten Beläge in folgender Art und Weise auf die Prüfkörperoberflächen aufgebracht: Während der Rad-Tauch-Test als ein beschleunigtes Alterungsverfahren an Freiluftisolierungen dient, eignet sich die definierte Nebelbelastung mit geringer Volumenleitfähigkeit für die Ermittlung des Oberflächenverhaltens unter erschwerten Innenraumbedingungen [1].

Ergebnisse

Im Rad-Tauch-Test weisen die hergestellten superhydrophoben Oberflächen im We-

sentlichen eine längere Alterungsfrühphase auf. Weiterhin ist das dynamische Ableitstromverhalten mit sprunghafter Zunahme der Messwerte bei den modifizierten superhydrophoben Isolierstoffoberflächen nicht mehr zu erkennen. In Abb.1 und Abb. 2 sind die zeitlichen Alterungsverläufe der unbehandelten und modifizierten Isolierstoffoberflächen im Rad-Tauch-Test exemplarisch dargestellt.

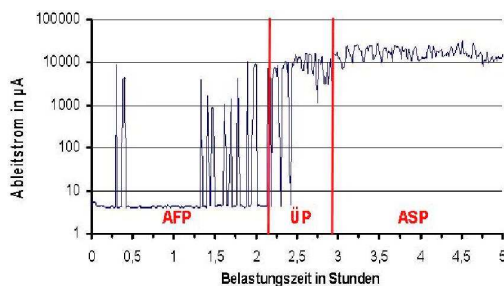


Abb. 1: unbehandelte Probenoberfläche im Rad-Tauch-Test

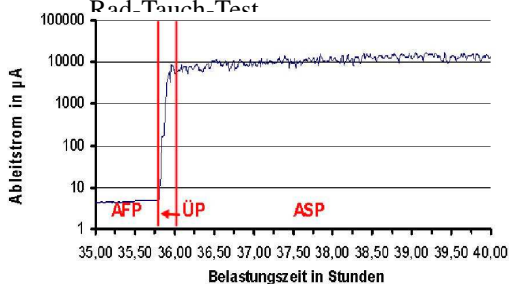


Abb. 2: modifizierte Probenoberfläche im Rad-Tauch-Test

Andererseits lässt sich der Oberflächenzustand der untersuchten Prüflinge während der Kaltnebeltests anhand der in den Fremdschichten umgesetzten Wirkleistungen bewerten. Im Unterschied zu den superhydrophoben Oberflächen ist eine große Schwankung der Ergebnisse bei den unbehandelten Modellprüfkörpern festzustellen. Es weist darauf hin, dass die derartigen Sprünge des Ableitstroms, die auf einer Tropfenbewegung entlang der senkrecht gestellten Probenoberflächen zurückzuführen sind, mit Hilfe der superhydrophoben Beschichtung fast vollständig unterdrückt werden können. Deshalb begünstigt dies

zum Teil auch die Beständigkeit der superhydrophoben Oberflächen unter elektrischen und klimatischen Belastungen.

Ausblick

Im weiteren Vorgehen sollen die modifizierten Alterungstests an den Prüfkörpern durchgeführt werden, wobei spezielle Klimabeanspruchungen, wie z.B. Betauung, in einer guten Näherung nachgebildet werden. Um statistisch gesicherte Messergebnisse zu erzielen, besteht gegebenenfalls noch Bedarf neu entwickelte Prüfverfahren einzusetzen. Schließlich sollen die dazu passenden Oberflächenanalysen einen Rückschluss über die chemisch-physikalische Veränderung des Materials geben.

Quellen

- [1] R.Bärsch: *Elektrisches Verhalten von polymeren Isolierstoffen unter Freiluft- und erschwerten klimatischen Innenraumbedingungen*, RCC-Tagungsbericht: Werkstoffe für Isolatoren Überspannungsableiter, Kabelgarnituren, Schaltgeräte in der Hochspannungstechnik, 06.-07.April 2006 in Berlin.
- [2] J.Kindersberger: *Stand und Tendenzen der Prüfung von Kunststoffen für Freiluftisolierungen*, HIGH-VOLT Kolloquium 03, 22-23 Mai 2003 Dresden, paper 4.2 Seiten 121-131.

Kontakt

Dipl.-Ing. Junliang Wu
wu@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94924

Investigations of the aging performance of nanostructured superhydrophobic insulating surfaces under simultaneous electrical and climatic stresses

The electrical performance of insulating materials is substantially affected by the multi-stress-conditions like moisture, contamination and electrical stress in service. For an extension of the lifetime of high voltage insulating systems it is therefore of particular importance to enhance the surface performance of materials under simultaneous electrical and climatic stresses. With the help of newly developed surface modifications, superhydrophobic insulating surfaces with the self-cleaning effect can be now created. The investigations of the aging performance of such modified insulating surfaces are carried out during this study.

Introduction

For a large number of components in electrical power engineering, the interfaces of the insulations indicate, in the majority of cases, critical flaws under electrical stress. According to the forms of appearance, they can be generally subdivided into internal and external interfaces. To overcome the contamination problem at the external interfaces, polymeric materials, e.g. silicone rubber (SiR) are often used in the involved insulation systems such as composite insulators. It exhibits an intrinsic surface hydrophobicity apart from the advantages like less weight. Hence, the formed water drops can be easily removed from the insulating surfaces because of the contact angles, which are much larger than 90° . However, as a promising attempt, superhydrophobic insulating surfaces show even much lower surface tension, which is based on a surface treatment (hydrophobisation and nanostructuring) and gives rise to the so-called self-cleaning effect. Thus, the occurrence of contamination layers along the insulating surfaces can be evidently diminished. At the same time, a decelerated aging process of the insulating surfaces might be also expected due to the less intensity of leakage currents in this case.

Experimental Tests

In addition to the reference materials, surface-modified cylindrical specimens are investigated using a few artificial aging tests. In these tests, the specimens are subjected to a quasi uniform electrical field. To simulate the climatic stresses, especially the humidity under different service conditions, the contamination layers are generated on the specimen surfaces in the following ways: Whereas the modified wheel-rotating-dip test serves as an accelerated aging method for outdoor insulations like high voltage insulators, the special clean fog test with a lower volume conductivity is usually employed for the investigation of the surface behaviour in severe circumstances of indoor applications [1,2].

Results

In the modified-wheel-rotating-dip test, the nanostructured superhydrophobic specimen shows a much longer early-aging-phase of the sample surface. Meanwhile, the dynamic behaviour of leakage currents with an erratic rise is also no longer pronounced at the modified superhydrophobic insulating surfaces. The typical aging processes

of the untreated and modified insulating surfaces in the modified-wheel-rotating-dip test are shown in Fig.1 and Fig.2.

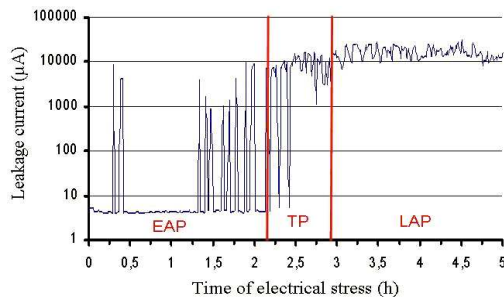


Fig. 1: untreated insulating surface in the modified-wheel-rotating-dip test

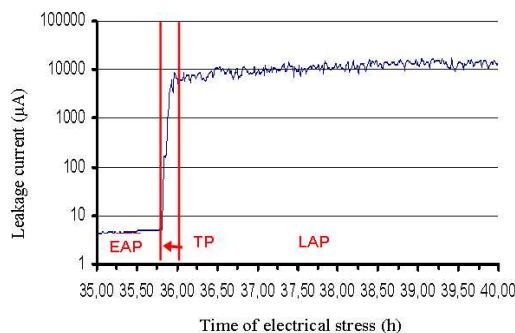


Fig. 2: modified superhydrophobic insulating surface in the modified-wheel-rotating-dip test

On the other hand, the surface condition of the specimens in the clear fog test can be evaluated with the effective power in the contamination layers. In contrast to the superhydrophobic surfaces, the untreated test specimens reveal a significant deviation of the measurement results. It demonstrates that the dynamic behaviour of the leakage currents, caused by the dripping water along the vertical placed sample surfaces, can be limited by using the superhydrophobic coating. Consequently, the durability of the superhydrophobic surfaces under electrical and climatic stresses is considerably enhanced.

Outlook

In further investigations about the durability of superhydrophobic surfaces, other artificial aging tests will be conducted. The special climatic stresses e.g. dew will be simulated in the test chamber. To achieve the statistically firm results, new test setups and procedures might be developed, if necessary. Finally, a conclusion about the chemical-physical changes of the applied materials will be drawn by means of surface analyses.

References

- [1] R.Bärsch: *Elektrisches Verhalten von polymeren Isolierstoffen unter Freiluft- und erschwerten klimatischen Innenraumbedingungen*, RCC-Tagungsbericht: Werkstoffe für Isolatoren Überspannungsableiter, Kabelgarnituren, Schaltgeräte in der Hochspannungstechnik, 06.-07.April 2006 in Berlin.
- [2] J.Kindersberger: *Stand und Tendenzen der Prüfung von Kunststoffen für Freiluftisolierungen*, HIGH-VOLT Kolloquium 03, 22-23 May 2003 Dresden, paper 4.2 Page 121-131.

Contact

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

Untersuchungen zur Stoßspannungsfestigkeit von syntaktischem Schaum

In der Hochspannungstechnik bestimmen die Eigenschaften des Isolationsystems maßgeblich die Abmessung und das Gewicht der zu entwickelnden Anlagen. Aufgrund ihrer geringen spezifischen Dichte und der guten mechanischen Eigenschaften stellen Syntaktische Schäume eine leichte und günstige Alternative zu herkömmlichen festen Isolierstoffen dar. Nach Voruntersuchungen mit Wechsel- und Gleichspannungsbelastung wird die Stoßspannungsfestigkeit des Materials untersucht.

Syntaktischer Schaum - Aufbau und Parametrierung

Bei syntaktischem Schaum handelt es sich um eine Polymermatrix, in die durch einen Mischvorgang Mikrohohlkugeln (MHK) aus Glas oder Kunststoff eingebracht werden. Die Matrix des hier untersuchten Schaums besteht aus Epoxydharz, die eingemischten Kugeln bestehen aus Glas und haben einen Durchmesser von unter 200 μm . Die im resultierenden Material entstehenden Hohlräume sind von den Glaswänden des Füllstoffes umschlossen. Dies unterscheidet syntaktischen Schaum von konventionellen Schaumstoffen. Durch Variation verschiedener Parameter, wie Füllgrad, Wandstärke, Kugeldurchmesser und Oberflächenbeschaffenheit können die Eigenschaften des Gesamtmaterials verändert werden. Die Herstellung eines „maßgeschneiderten“ Werkstoffes mit an die Anforderungen angepasster physikalischer Dichte und mechanischen Eigenschaften ist somit möglich. Der zurzeit am Institut entwickelte Schaum soll eine hohe elektrische Belastbarkeit mit geringer Dichte und mechanischer Stabilität verbinden. Eine Anwendung des Materials in unterschiedlichen Bereichen der Hochspannungstechnik sowohl als Isolations- als auch als Konstruktionswerkstoff ist geplant.

Experimentelle Untersuchungen

In Ergänzung zu bereits in Jahresberichten 2004 und 2005 vorgestellten hohen Spannungsfestigkeiten für Gleichspannungs- und Wechsellspannungsbelastung wird die Spannungsfestigkeit des Materials bei Blitzstoßspannung (1,2/50 μs) untersucht. Der Prüfablauf erfolgt nach DIN VDE 0303 Teil 23, wobei bei jeder Spannungsstufe eine Serie von drei Spannungsimpulsen im Zeitabstand von 10 s erfolgte. Die Scheitelspannung der Anfangsserie beträgt etwa 70 % der erwarteten Durchschlagspannung, die Scheitelspannung jeder folgender Serie wird um 10 % der Scheitelspannung der ersten Serie erhöht. Untersuchungen wurden bei Raumtemperatur mit Materialprüflingen mit unter Vakuum eingegossenen Kugelelektroden (Homogenfeld, Schlagweite 3 mm, mind. 3 Prüflinge pro Kugeltyp) durchgeführt und statistisch ausgewertet.

Um den Einfluss der Kugelparameter auf die Stoßspannungsfestigkeit zu ermitteln, wurden die Wanddicke und der Durchmesser der Mikrohohlkugel im untersuchten Syntaktischen Schaum bei konstanten Füllgrad variiert. Abbildung 1 stellt eine Zusammenfassung physikalischer Parameter der untersuchten Mikrohohlkugeln dar.

Kugeltyp	A	B	C	D
Wandstärke [μm]	0,88	0,88	0,52	1,29
Max. Durchmesser [μm]	120	80	75	65
Mittlere Durchmesser [μm]	65	40	35	30

Abb. 1: Physikalische Eigenschaften der untersuchten Mikrohohlkugeln

Ergebnisse

Das Ergebnis der Messreihe ist in Abbildung 2 dargestellt.

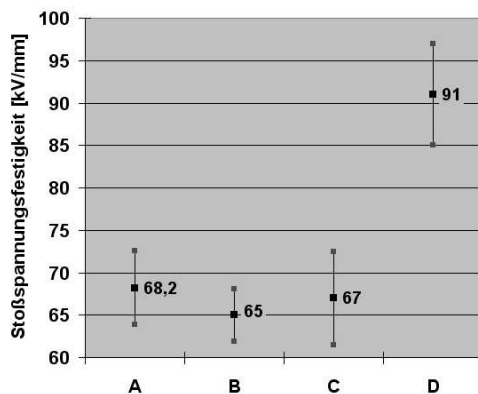


Abb. 2: Stoßspannungsfestigkeit der Materialproben (Konfidenzinterv.: 95%)

Die Spannungsfestigkeiten der Kugeltypen A und B sind vergleichbar, die Wanddicke dieser Kugeln ist gleich und nur die Durchmesser der Hohlkugeln unterscheiden sich. Im selben Spannungsbereich befindet sich auch die Stoßspannungsfestigkeit der Materialproben gefüllt mit Kugeltyp C, obwohl deren Durchmesser und Wanddicke um 46% bzw. um 40% im Vergleich zu Kugeltyp A geringer sind. Die Spannungsfestigkeit der Materialproben gefüllt mit Kugeltyp D ist dagegen mit 91 kV/mm circa um das 1,4fache größer. Einerseits ist der Durchmesser dieser Kugel im Vergleich zu Typ A um 54% kleiner, andererseits ist die

Wandstärke hier um 47% größer. Die Vertrauensbereiche der Kugel A-C und Kugel D überlappen sich nicht.

Durchgeführte Untersuchungen zeigen, dass die Miktohohlkugeln vom Typ D eine deutlich höhere Spannungsfestigkeit aufweisen und somit für den Einsatz im syntaktischen Schaum besser geeignet sind. Eine mögliche Erklärung dazu liefert ein Modell des Durchschlags, das in [1] beschrieben wird. Eine Gasentladung entsteht demnach zunächst innerhalb einer einzelnen Kugel, und löst dann durch die Feldüberhöhung in benachbarten Kugeln weitere Entladungen aus. Gleichzeitig erfolgt aufgrund einer Potentialverschiebung eine drastische Feldverstärkung, wodurch ein elektrischer Durchschlag im Epoxidharz sowie in den Glaswänden der Mikrohohlkugeln initiiert wird. Diese beiden Prozesse werden durch einen Einsatz von Kugeln des Typs D verzögert. Zum einen erfolgt eine Entladung im kleineren Innenraum dieser Kugel erst bei höheren Feldstärken, zum Anderen wird die Spannungsfestigkeit des Systems Kugelwand-Harzmatrix-Kugelwand durch Wandverstärkung erhöht. Weitere Untersuchungen zur Validierung dieser Hypothese laufen.

Quellen

- [1] R. A. Anderson, R.R. Lagasse, J.L.Schroeder, *Pulsed Electrical Breakdown of a void-filled dielectric; Journal of Applied Physics, Volume 91, Number 9, 2002*

Kontakt

M.-Sc. Andrey Mashkin
Mashkin@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94939

Syntactic foam under lightning impulse voltage stress

The weight and dimensions of many high voltage components strongly depend on the electric properties of the insulation materials used. Due to their low weight and good mechanical properties, syntactic foams could be an interesting and cheap alternative to the conventional insulation materials for the developer of high voltage equipment. After some investigations on electrical strength of syntactic foams under AC and DC voltage stress have been performed, lightning impulse withstand voltage has been determined in current material tests.

Introduction

Syntactic foams consist of a polymeric material and hollow microspheres made out of glass or plastic which are mixed into material in order to get foam-like structures. The polymeric base of syntactic foam investigated here is epoxy resin; the hollow microspheres cast in are made out of glass and have diameter of far less than 500 μm . Voids occurred in this material are covered with spherical glass walls what differ them from the typical voids in conventional foams. The performance of the syntactic foams can be varied by changing several parameters, such as filling degree, wall thickness, sphere diameter and surface conditioning. The right choice of these production parameters make it possible, to produce a „tailor-made” rigid material, which fulfill certain requirements concerning weight and mechanical strength.

The syntactic foam has been developed at our institute and combines low weight with high mechanical and electrical strength. Applications for this material in the area of high voltage technology, where it works as insulation and construction material, is projected.

Experimental setup and samples

High withstand voltages of the syntactic foam under AC and DC-stress have been mentioned already in the annual

reports 2004 and 2005. After confirming these excellent electric properties (up to 21,7 kV/mm by AC stress, 34,8 kV/mm by DC stress) by new tests, lightning impulse withstand voltage (1,2/50 μs) of developed foam has to be investigated. The tests are performed according to VDE standard 0303, Part 23 in order to guaranty comparableness. In every voltage step a sequence of three impulses will be applied with impulse charge time of 10 s. The peak voltage of the first voltage step is set to about 70 % of breakdown voltage expected, the voltage of every following step will be increased by 10 % of the first step voltage. The spherical electrodes are embedded in the material sample during the casting with a gap of 3 mm. Three samples of each material type were tested, the breakdown voltage were statistically analyzed. Investigations with the cured material samples were carried out on normal environmental conditions, material samples were dipped for the outer insulation into the transformer oil. The diameter of hollow microspheres used and the wall thickness were varied by the constant filling degree, in order to observe the influence of the filling parameters on the resulting electrical properties of the foam. Physical properties of microspheres used are shown on the figure 1.

Microsphere type	A	B	C	D
Wall thickness [μm]	0,88	0,88	0,52	1,29
Maximal diameter [μm]	120	80	75	65
Average diameter [μm]	65	40	35	30

Abb. 1: Physical properties of microsphere used

Results

The result of the measurement sequence is shown on the figure 2.

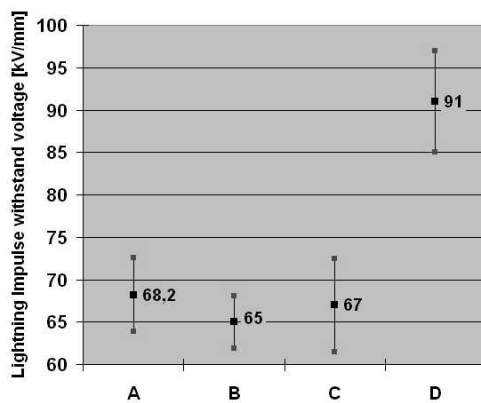


Abb. 2: Lightning impulse withstand voltage of four tested materials (confidence interval.: 95%)

Electric strength of the foams filled with microspheres type A and B is quite similar. Wall thickness of both microspheres is the same; the microsphere diameter of type B is decreased. Further decreasing of microsphere diameter (by 46% of type A) and decreasing of wall thickness (by 40% of type A) by the microspheres type C do not lead to significant change of breakdown voltage. On the right side of figure 2 the withstand field strength of syntactic foam is shown, filled with microspheres type C, which maximal diameter is by 54% lower than type A and wall thickness is increased by 47 % to 1,29 μm. The withstand field

strength is grown thereby up to 91 kV/mm, it is 1,4 times higher as withstand voltage of other foams. The confidence intervals of both foams does not overlap. The investigations have shown that lightning impulse withstand voltages of syntactic foam type D is significant higher, thus this type of microspheres is more suitable from electrical properties for application in syntactic foam. The possibility to explain high breakdown strength of syntactic foam filled with type D microspheres offer an impulse stress breakdown model described in [1]. According to this, an initial discharge occurs inside of one particular microsphere stressed. The becoming field enhancement in the neighbouring microspheres cause next discharges and coincident strong field boost on epoxy bulk and microsphere walls; the whole insulation will break down. On the one hand, in case of type D microspheres a thick microsphere wall gives more dielectric strength to the bulk part of spark gap. On the other hand, small internal void size of this microspheres lead to later discharge as it is by other microspheres. Further investigations on the breakdown mechanism in syntactic foams are running.

References

- [1] R. A. Anderson, R.R. Lagasse, J.L.Schroeder, *Pulsed Electrical Breakdown of a void-filled dielectric; Journal of Applied Physics, Volume 91, Number 9, 2002*

Contact

M. Sc. Andrey Mashkin
Mashkin@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94939

Untersuchung der elektrischen Eigenschaften von elastischem syntaktischen Schaum

Bei einer möglichen Leckage von Komponenten der Hochspannungstechnik kann das Isoliermedium austreten und die Isolierfähigkeit verloren gehen. In letzter Konsequenz führt dies zum Ausfall der Komponente. Abhilfe könnte hier ein elastischer Isolierstoff schaffen, der im flüssigen Zustand in die Anordnung gegossen wird und somit alle Hohlräume gut ausfüllen kann. Nach der Aushärtung ist das Isoliersystem unempfindlich gegen Leckagen und aufgrund der Elastizität auch in der Lage, im Freiluftbereich auftretende starke Temperaturzyklen auszugleichen. Ein in dieser Hinsicht vielversprechendes Material ist elastischer syntaktischer Schaum. Da die Anwendbarkeit dieses Werkstoffs in hochspannungstechnischen Anwendungen bislang aber noch nicht hinreichend untersucht wurde, müssen umfangreiche elektrische Tests zur Charakterisierung durchgeführt werden.

Einleitung

Ein nicht brennbarer, fester Isolierstoff wird auch als trockener Isolierstoff bezeichnet. Für feste Isolierstoffe stellen aber wiederum thermische Lastspiele ein Gefährdungspotential dar. Bei thermischer Materialausdehnung kann es zur Ablösung von der Elektrode oder zur Spaltbildung kommen. In diesen Hohlräumen können unter hoher Feldbelastung Teilentladungen entstehen, die zur Zerstörung der Isolation führen. Zudem müssten vorgefertigte, feste Isolierungen passgenau gefertigt werden, was nicht immer einfach ist. Abhilfe schafft ein Isoliermaterial, das im flüssigen Zustand vergossen wird und dort zum Feststoff aushärten kann. Eine hohe Elastizität und ein ausgeprägtes Adhäsionsvermögen des Feststoffes helfen hierbei, die thermischen Lastspiele auszugleichen. Elastische syntaktische Schäume gehören zu diesen Materialien. Sie werden durch Einmischen von Kunststoffmikrohohlkugeln mit einem Durchmesser im Bereich einiger $10\ \mu\text{m}$ in eine Matrix aus einem niedrigviskosen Silikonelastomer (Silikongel) hergestellt. Die Kunststoffmikrohohlkugeln sorgen für die Kompressibilität des Werkstoffs während das Silikongel die starke Adhäsion an Me-

tallen und anderen Polymeren gewährleistet. Die Form der Kunststoffhohlkugeln hat hierbei den Vorteil, dass sie das niedrigste Verhältnis Oberfläche zu Volumen besitzt. Dies hat zur Folge, dass die Viskosität des noch flüssigen Isolierstoffes bei der Herstellung für einen geforderten Füllgrad am geringsten ist. Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung der wichtigsten elektrischen Eigenschaften dieses Schaums.

Verwendete Materialien

Als Matrix für den elastischen syntaktischen Schaum wird ein niedrigviskoses Silikongel verwendet. Hierbei handelt es sich um ein Silikonelastomer der RTV-2 Silikonkautschuke, also ein raumtemperaturvernetzendes Zweikomponentensystem [1]. Zur Entwicklung eines Schaummaterials stehen bei unveränderter Matrix folgende Parameter des Füllstoffes zur Verfügung:

- Mikrohohlkugeltyp
- Mikrohohlkugelbeschichtung
- Kugeldurchmesser
- Füllgrad

Generell bestehen die Mikrohohlkugelhüllen aus einem Acrylnitril-Copolymer. Die Wandstärke beträgt nur ca. $0,2\ \mu\text{m}$. In dem Kugelhohlraum befindet sich Pentan. Die Durchmesser der Kugeln variieren je nach Kugeltyp. Im Rahmen der hier vorgestellten Untersuchung werden zwei unterschiedliche Kugeltypen verwendet: Der mittlere Kugeldurchmesser bei Kugeltyp A liegt bei $80\ \mu\text{m}$, Kugeltyp B weist einen mittleren Kugeldurchmesser von $90\ \mu\text{m}$ auf und ist mit einer zusätzlichen Beschichtung aus CaCO_3 versehen. Abb. 1 zeigt eine Nahaufnahme einer unbeschichteten Mikrohohlkugel unter dem Lichtmikroskop. Der Volumenanteil der Kugeln am syntaktischen Schaum beträgt bei beiden Typen 40 %.

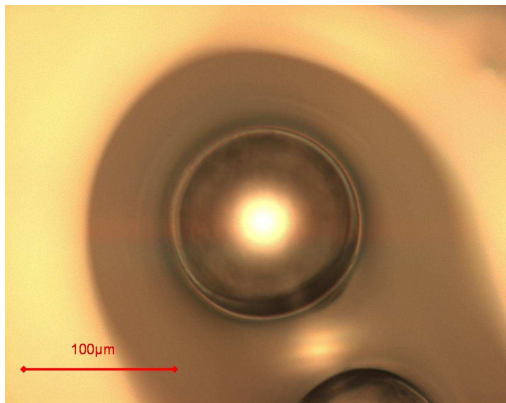


Abb. 1: Lichtmikroskopaufnahme einer unbeschichteten Mikrohohlkugel in unvernetztem Silikongel

Experimentelle Untersuchungen

Um Aussagen über die Kurzzeitspannungsfestigkeit des Materials machen zu können, werden Prüflinge aus elastischem syntaktischem Schaum einem Stufentest unterzogen. Die Feldstärkebelastung des Materials beträgt zu Beginn des Tests $10\ \text{kV/mm}$ und wird jede Minute um $\frac{2}{3}\ \text{kV/mm}$ erhöht, bis ein Durchschlag im Schaum verzeichnet werden kann. Die Ergebnisse sind in Form eines Diagramms in Abb. 2 dargestellt.

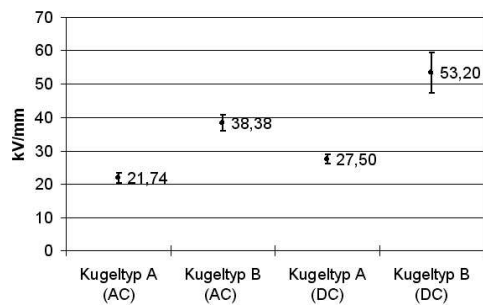


Abb. 2: Kurzzeitspannungsfestigkeit von elastischem syntaktischem Schaum

Zur statistischen Absicherung sind alle Tests mit jeweils fünf Prüflingen durchgeführt worden. Neben dem arithmetischem Mittelwert ist zusätzlich der 95%ige Vertrauensbereich angegeben.

In der Hochspannungstechnik ist es unerlässlich, eine sichere galvanische Trennung von Bauelementen mit unterschiedlichem Potential zu gewährleisten. Somit wird ein hoher Isolationswiderstand gefordert. Um verschiedene Isolierstoffe miteinander vergleichen zu können, wird der geometrieunabhängige spezifische Durchgangswiderstand herangezogen. Im engeren Sinne handelt es sich hierbei um den spezifischen Gleichstromwiderstand, der sich nach Abschluss des Polarisationsstromes einstellt. In Tab. 1 sind die gemessenen spezifischen Widerstände der beiden untersuchten Schaumtypen in tabellarischer Form aufgelistet.

	Spezifischer Widerstand [$\Omega \times \text{cm}$]
Kugeltyp A	$3,9 \times 10^{15}$
Kugeltyp B	$1,2 \times 10^{16}$

Tab. 1: Kurzzeitspannungsfestigkeit von elastischem syntaktischem Schaum

Ergebnisse

Die Untersuchungen der dielektrischen Eigenschaften und Spannungsfestigkeit

ten belegen die prinzipielle Verwendbarkeit elastischer syntaktischer Schäume in Anwendungen der Hochspannungstechnik. Im Vergleich zwischen unbeschichteten und beschichteten Kugeln zeigt zudem der Schaum aus beschichteten Kugeln in Bezug auf den spezifischen Widerstand tendenzielle und in Bezug auf die Kurzzeit-Spannungsfestigkeit signifikant bessere elektrische Eigenschaften.

Um ein besseres Verständnis über die Entladungsvorgänge in elastischem syntaktischen Schaum zu erlangen, werden Entladungsstrukturen mittels einer Spitze-Platten-Anordnung erzeugt. Diese Kanäle werden freigelegt und mit einem ESEM (Environmental Scanning Electron Microscopy) untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die kritische Komponente in den betrachteten Schäumen die Kugeln darstellen. Aufgrund des Feldverdrängungseffekts wird das Gas in der Kugel von einem höheren elektrischen Feld belastet. Da dieses zudem weniger spannungsfest ist als das umgebende Elastomer, entstehen Teilentladungen in der Mikrohohlkugel. Haben diese Entladungen eine ausreichende Intensität, können die Kugelwände aus thermoplastischem Kunststoff zerschmelzen und die Entladung kann sich schließlich auch im Silikongel ausbreiten. Ein Kanalwachstum ist die Folge, was letztlich zum dielektrischen Versagen des Isolierstoffes führen kann. Abb. 3 zeigt eine ESEM Aufnahme einer Entladungsstruktur in elastischem syntaktischem Schaum die diese Annahme bestätigt.

In Anbetracht dieser Erkenntnisse können Ursachen für das verbesserte elektrische Verhalten von syntaktischem Schaum aus beschichteten Kugeln vermutet werden: Durch die nicht leitfähige Beschichtung wird der Abstand zwischen zwei Kugeln die sich berühren vergrößert. Dies hat einen erhöhten Kontaktwiderstand zur Folge. Gleichzeitig stabilisiert die thermisch unempfindliche CaCO_3 -Schicht die Kugel-

wände der Mikrohohlkugeln und verzögert oder verhindert wahrscheinlich bis zu einer Grenzfeldstärke die Entwicklung von Electrical Trees in das Matrix-Material hinein.

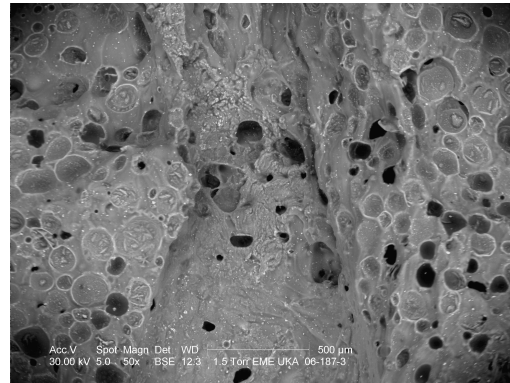


Abb. 3: ESEM-Aufnahme einer Entladungsstruktur bei einer Spitze-Platten-Anordnung, aufgenommen in der Pathologie des Universitätsklinikums der RWTH Aachen

Ausblick

Für die Zukunft ist eine Untersuchung der elektrischen Eigenschaften bei unterschiedlichen Belastungen (Temperatur, Druck) vorgesehen.

Quellen

- [1] G. Finis, *Das Verhalten von Silikongel unter hohen elektrischen Feldstärken*; Kassel University Press GmbH, Kassel 2005.

Kontakt

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

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

Investigation of the electrical properties of elastic syntactic foam

Periodical maintenance of oil- or gas-insulated components in high voltage applications is essential. In case of a leakage, the insulating material might leave the arrangement and the insulating property is reduced resulting in a breakdown and malfunction of the component. A solid and elastic insulating material which can be poured in while being still in a liquid state can help to avoid this problem. After the curing, the component is insured to leakages. Due to its elasticity, the insulation material is also able to manage load cycles and thermal changes. In this respect elastic syntactic foam is a promising solution. But not being investigated sufficiently, the applicability in high voltage insulation systems must be researched. Therefore extensive electrical tests are necessary for its characterisation.

Introduction

A non-flammable solid insulating material is also referred to as dry insulation. However for solid insulating materials, huge temperature cycles are dangerous. In case of thermal expansion, a delamination of the electrode or a gap-formation can occur. Under high field stress partial discharges can occur in these voids leading to a disruption of the insulation. Erosion is the result. In addition, prefabricated solid insulations must be produced true to size, which is not easy at all times. A solid insulating material which can be filled in a liquid state and which is cured afterwards may be the solution to this problem. A high elasticity and a distinct adhesion force of the solid are needed in order to help compensating thermal cycles. Elastic syntactic foams are materials with such properties. They are produced by admixing plastic-microspheres with a diameter of some $10\mu m$ in a matrix of a low viscous silicone-elastomer (silicone-gel). The silicone-gel features to a strong adhesion on metallic surfaces and other polymers, while the microspheres increase the compressibility of the composition. The advantage of the spherical form of the filler is the lowest possible ratio of surface to volume. The result is the lowest viscosity of the still liquid insulating material for a required filling degree. The objective

of this work is the investigation of important electrical properties of elastic syntactic foam.

Applied Materials

A silicone-gel with a low viscosity is used as matrix for the elastic syntactic foam. It is a so called RTV-2 silicone-rubber, a room temperature cross-linking, two-component system [1]. With this material serving as a matrix, the following parameters of the filler are investigated producing the foam:

- Type of microspheres
- Sphere-coating
- Diameter of the spheres
- Filling degree

The sphere shell is composed of an Acrylonitrile-Copolymer. The wall thickness is only $0.2\mu m$ and the sphere is filled with pentane. Its diameter varies depending on the sphere-type. In this particular investigation, two different sphere-types are used: Type A has a medial diameter of $80\mu m$, Type B of $90\mu m$. The latter sphere type is additionally coated with a layer of $CaCO_3$. A close-up view of an uncoated microsphere, created by a light optical microscope, is shown in fig. 1. The volume fraction

of the foam filled with spheres is 40 %.

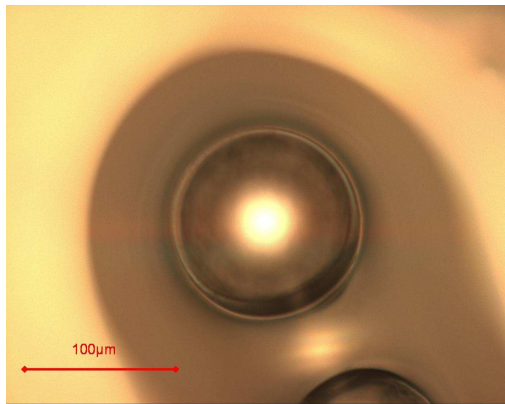


Fig. 1: Photo of an uncoated microsphere in liquid silicone-gel recorded by a light optical microscope

Experiments

In order to determine the short term break down field strength of elastic syntactic foam, step tests with the following parameters are conducted: a field stress of 10 kV/mm is chosen as a start value and it is increased $\frac{2}{3}$ kV/mm every one minute until a breakdown of the sample occurs. The average breakdown field strengths together with the 95% confidence interval for each sphere type are shown in fig. 2. Five samples are used for each test series in order to ensure the statistical validation of the measurement.

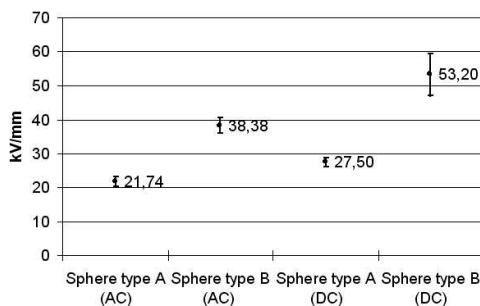


Fig. 2: short term breakdown field strength of elastic syntactic foam

In almost every application in the area of high voltage technology, it is essential to

provide a galvanic isolation between components with different electric potential. For this task a high ohmic resistance is required. Different insulating materials are generally compared by measuring their specific resistivity. For practical purposes, it is advisable to measure the specific resistivity of the material after all polarisation mechanisms in the insulation have faded away. Tab. 1 contains this value for the two foam types investigated here.

	Specific resistivity [$\Omega \times \text{cm}$]
Sphere type A	$3,9 \times 10^{15}$
Sphere type B	$1,2 \times 10^{16}$

Tab. 1: Specific resistivity of elastic syntactic foam

Results

The investigations which are presented here prove that the dielectrical properties and the short term breakdown field strength of elastic syntactic foams are sufficient for high voltage applications. A comparison between a foam that was made out of coated and uncoated microspheres shows that a coating of microspheres with CaCO_3 leads to a significant improvement concerning the short term breakdown field strength and a tendency to increase the specific resistivity of the foam.

If high field stresses are applied, partial discharges can occur inside the microspheres because of the lower dielectric constant of the gas compared to the polymer of the microsphere shell and the silicone matrix which surrounds it. Additionally, the breakdown field strength of gas is also lower. If the partial discharges reach a sufficient intensity, the microsphere shells melt and a spreading of the erosion process into the silicone gel matrix is possible. The growth of discharge channels into the material which finally leads to a breakdown is a possible

consequence. For the experimental investigation of this process, discharge channels have to be created in the material. Fig. 3 shows the ESEM (Environmental Scanning Electron Microscopy) picture of such a discharge channel which has been dissected from a needle-plate-sample and which confirms the assumptions made above.

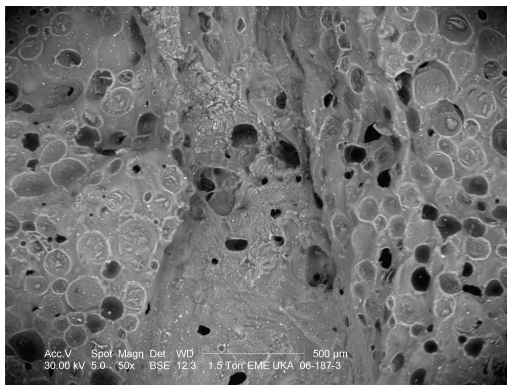


Fig. 3: ESEM-picture of a discharge channel in elastic syntactic foam, taken at the pathological institute of the University Hospital Aachen

Reasons for the improved electrical properties of syntactic foam which is manufactured with coated microspheres can be presumed in consideration of these findings: the distance between two spheres with direct contact to each other is increased due to the thickness of the non conducting coating layer. This results in an increased con-

tact resistance. The thermally insensible CaCO_3 coating also stabilises the polymer wall. This might delay or even prevent the propagation of electrical trees into the matrix-material up to a certain threshold field stress.

Outlook

Future tests comprise investigations concerning the dependence of electrical properties from additional loads (overpressure and depression, different temperature levels).

References

- [1] G. Finis, *Das Verhalten von Silikongel unter hohen elektrischen Feldstärken*; Kassel University Press GmbH, Kassel 2005.

Contact

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

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

Verteilte Energiewandlung in zukünftigen Verteilungsnetzen - Ergebnisse einer Fallstudie

Für Deutschland existieren unterschiedliche Trendszenarien der zukünftigen Stromerzeugung. Welchen Anteil daran dezentrale Energiewandlungseinheiten haben können, um verringerte Umweltemissionen der Stromversorgung sicherzustellen, ist Gegenstand einer aktuellen Forschungsarbeit am Institut.

Einleitung

Im Rahmen dieses Beitrags werden zukünftige Szenarien zur Energieversorgung in Deutschland bis 2030 vorgestellt. Die Auswirkungen einer dabei angenommenen stark dezentralen Energiewandlung werden hierzu mit einem Stromversorgungsmix aus Großkraftwerken nach heutigem Standard verglichen und technische sowie ökologische Auswirkungen dargestellt.

Szenariountersuchungen zur zukünftigen dezentralen Strom- und Wärmeversorgung

Ziel der durchgeführten Untersuchungen ist die Bereitstellung relevanter Eingangsdaten für die Netzplanung sowie für die Ökoeffizienzanalyse der dezentralen Energiewandlung (DEA) in Verteilungsnetzen. Bei der Modellierung werden in Anlehnung an verschiedene Studien vier mögliche Szenarien betrachtet [1], [2], [3]. Neben einem Basisszenario werden drei weitere Szenarien der zukünftigen Energieversorgung zu Grunde gelegt: ein Effizienz-szenario, ein Nuklearszenario und ein Nachhaltigkeits-szenario. Je nach angenommener Entwicklung werden darin von heute bis 2030 die prozentuale Aufteilung der Stromerzeugung nach Energieträgern aufgeschlüsselt. Abbildung 1 zeigt den Verlauf der absoluten Stromerzeugung in den vier Szenarien. Zu erkennen ist dort ein allgemeiner Verbrauchsrück-

gang bei rückläufiger Bevölkerungsentwicklung und effizienterer Energienutzung.

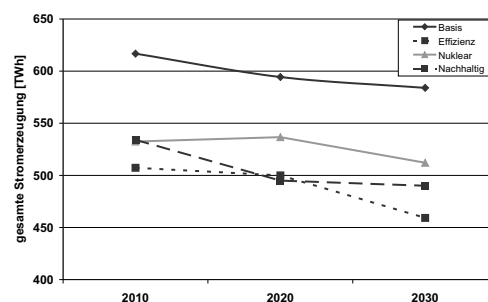


Abb. 1: Entwicklung der absoluten Stromerzeugung

Stromversorgungsszenarien und berücksichtigte Dezentralisierung

Das Effizienz-szenario in Abbildung 2 zeigt beispielhaft die Anteile der verschiedenen Energieträger an der Strombereitstellung.

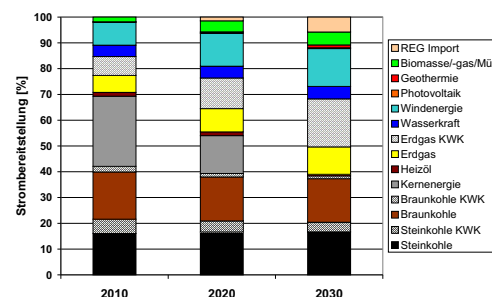


Abb. 2: Entwicklung der absoluten Strombereitstellung im Effizienz-szenario

Der Wegfall der Kernenergie ab 2020 soll hauptsächlich durch zusätzliche Gaskraft-

werke und einem Ausbau der Windenergie abgefangen werden.

Varianten der dezentralen Energieversorgung für 2030

Der Beitrag zur Stromerzeugung aus dezentralen Kraft-Wärme-Kopplungen (KWK)-Anlagen in den jeweiligen Jahren ist je nach Szenario durchaus unterschiedlich. Der Anteil des möglichen Anteils dezentralen KWK-Anlagen an der Stromerzeugung beträgt im hier betrachteten Effizienz-szenario ca. 30 %. Um zu untersuchen, welche Art von dezentralen Energieversorgungsanlagen in Zukunft unter ökologischen Rahmenbedingungen am sinnvollsten eingesetzt werden sollte, werden KWK-Anlagen verschiedener Leistungsklassen in einem städtisch-ländlichen Mittelspannungsnetz platziert. Das hier betrachtete Mittelspannungsnetz hat eine Netzlänge von ca. 50 km und eine reale Laststruktur mit einem Jahresenergieverbrauch von ca. 100 GWh. Die dezentrale Einspeisung elektrischer Energie stammt in der Variante „GROSS“ nur aus einer dezentralen KWK-Anlage im MW Bereich. In der Variante „MITTEL“ liefern wenige Anlagen mit Leistungen zwischen 0,5 und 1 MW die Energie und in der Variante „KLEIN“ erfolgt die Versorgung durch viele kleine BHKW in der Größenordnung von 5 bis 200 kW.

Spezifische CO₂-Emissionen des Strommixes

Für eine Bewertung der Stromversorgung in den verschiedenen Szenarien und Ausbauvarianten wurde zunächst untersucht, welche ökologischen Auswirkungen die vorgestellten Strommixszenarien pro gelieferter Menge Strom in CO₂-Äq./kWh haben. Abbildung 3 zeigt beispielhaft die Ergebnisse in der Wirkungskategorie Treibhauspotential (Global Warming Potential (GWP)).

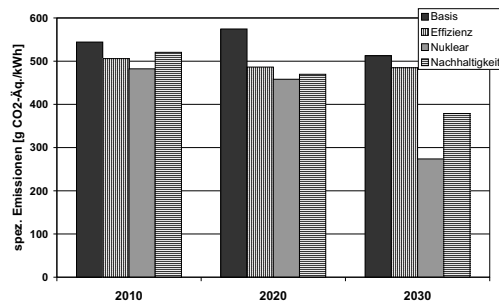


Abb. 3: Auswirkungen des Strommixes nach Szenariotyp

In allen drei dargestellten Zyklen sind im Basisszenario die höchsten CO₂-Emissionen festzustellen. Der Effekt zur Lieferung einer kWh Strom liegt im Jahr 2010 bei ca. 550 g CO₂-Äq. und sinkt nur leicht auf ca. 512 g im Jahr 2030.

In Abbildung 4 sind die spezifischen Umweltauswirkungen in CO₂-Äq./kWh in den verschiedenen Dezentralisierungsstufen für das Energieeffizienz-szenario 2030 dargestellt. Der Ausgangswert ohne DEA beträgt ca. 485 g CO₂-Äq./kWh, die spezifischen Emissionen der Varianten „KLEIN“, „MITTEL“ und „GROSS“ liegen leicht darunter.

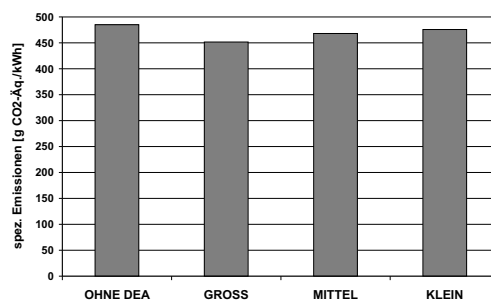


Abb. 4: Auswirkungen des Strommixes im Energieeffizienz-szenario

Für die parallele Wärmeerzeugung der DEA - bei vollständiger Abnahme durch den Endverbraucher - sind bereits Gutschriften in den spezifischen Emissionen berücksichtigt. Die dezentralen Varianten führen daher insgesamt zu geringen Verbesserungen der spezifischen Emissionen.

Ergebnisse der technischen Bewertung

Abbildung 5 zeigt schließlich die Ergebnisse der technischen Bewertung. Hierbei wird neben der Strombereitstellung auch die Wärmebereitstellung berücksichtigt. In allen drei Varianten sinken die Einspeisungen aus dem Hochspannungsnetz im Vergleich zum Referenznetz um ca. 30 %. Die Wärme aus zentralen Großkraftwerken mit KWK Anteil liegt sowohl im Referenznetz als auch in den drei Varianten bei etwas weniger als 20 GWh_{th}/a.

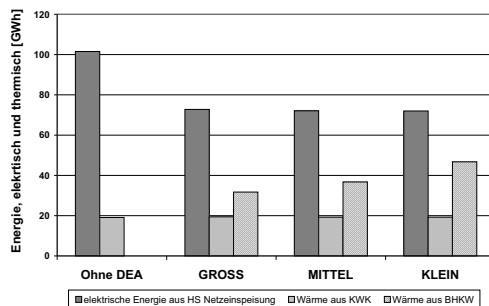


Abb. 5: Energieflüsse - elektrisch und thermisch

Die eingesetzten BHKW erzeugen zwischen 32 und 47 GWh_{th} thermischer Energie, wobei die Variante KLEIN hier den höchsten Wert aufweist. Kleinere BHKW haben geringere Stromkennzahlen, d.h. ihr elektrischer Wirkungsgrad ist niedriger als ihr thermischer.

Zusammenfassung

Die Integration dezentraler Energiewandlungseinheiten stellt den Betrieb von Energieversorgungsnetzen vor neue Herausforderungen, die zu Struktur- und Änderungen in der Betriebsführung führen können. An welchen Punkten im Netz und unter welchen Betriebsbedingungen (Lastflussdichten, Wirkungsgraden etc.) diese Anlagen betrieben werden sollen, ist bislang noch unklar. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die spezifischen Emissio-

nen des Strommixes (in CO₂/kWh) in einem Verteilungsnetz mit DEA nur geringfügig reduzieren lassen im Vergleich mit einem Strommix ohne dezentrale Einheiten. Grundlage dieser möglichen Emissionsreduzierung in der Stromerzeugung ist allerdings eine vollständige Wärmeabnahme auf Verbraucherseite. Ob und in welchem Umfang der dazu erforderliche Wärmebedarf bei zukünftigen Verbrauchergruppen (Haushalte, Gewerbe, etc.) noch vorhanden ist, muss noch untersucht werden. Ohne Wärmeabnahme sinkt der Systemwirkungsgrad, was zu höheren spezifischen Emissionen der DEA führt.

Quellen

- [1] W. Schult et al., 2005, *Energiereport IV - Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030, Energiewirtschaftliche Referenzprognose - Schlussbericht*, Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit, Köln 2005
- [2] M. Fishedick et al., 2002, *Langfristszenarien für eine nachhaltige Energienutzung in Deutschland*, 2002
- [3] K.D. Grill et al., 2002, *Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung*, Enquete-Kommission, Deutscher Bundestag 2002

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

Dispersed Generation in a distribution network - results of a studycase

The role of dispersed generation (DG) in Germany's future power supply is quite uncertain. Different trends are possible but it is not answered if DG could give contributions to a sustainable power supply with minimized emissions caused by power generation. Under which preconditions DG could have positive impacts is analyzed in a research project at the institute.

Introduction

In this paper possible future power supply scenarios between 2010 and 2030 are presented. The impacts in scenarios with and without dispersed generation in distribution networks are analyzed in a study case focussing on technical and ecological aspects.

Analysis of possible contributions by DG on the future power supply

Main aim of the analysis is to give relevant input data for network planning and eco-efficiency tools in the area of DG integration in distribution networks. In this work four possible power supply scenarios based on existing studies of the German government [1],[2],[3] are analyzed. Beside a basis scenario, an efficiency, a nuclear and a renewable scenario have been evaluated. In dependence on different trends in these scenarios the share of power generation technologies by resources can be evaluated.

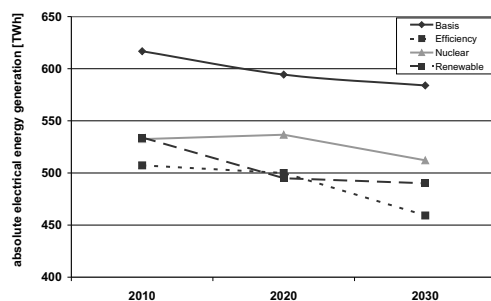


Fig. 1: Trends in power generation

In figure 1 the trends in power supply from 2010 to 2030 are shown for the scenar-

ios. A reduced electrical energy demand until 2030 in combination with a population shrinkage is expected.

Power supply scenarios and decentralization factors

In figure 2 the proportion of the different power generation technologies in the efficiency scenario are shown.

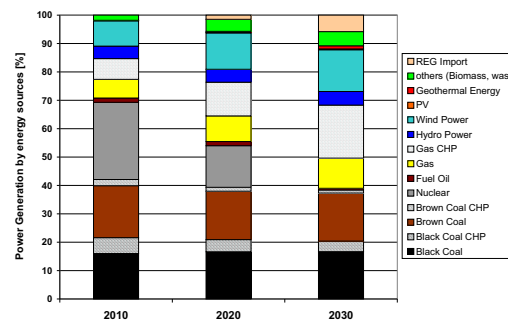


Fig. 2: Power generation in the efficiency scenario

The discontinuation of nuclear power in Germany by 2020 shall be compensated by additional gas power plants and a further upgrading of power generation by wind turbines. The proportion of dispersed power generation by CHP systems is depending on the scenario trend quite different. Here, in the analyzed efficiency scenario the share of dispersed power generation in CHP systems is about 30 %.

System size variations of DG units in 2030

The impacts of dispersed generation on the environment in future distribution networks are simulated in different variants. Therefore CHP systems with various power output level have been simulated in a medium voltage network. The distribution grid has a net length of 50km and an electricity consumption of approximately 100 GWh. In the variant „BIG“ one gas turbine in the MW area is installed. The power supply in the „MEDIUM“ variant is guaranteed by some CHP units with power output levels between 0,5 and 1 MW whereas in the variant „SMALL“ CHP units between 5 and 200 kW are integrated.

Specific CO₂-eq. emissions of the local electrical energy mix

For an analysis of the ecological impacts the specific emissions of the above presented power supply scenarios have been calculated.

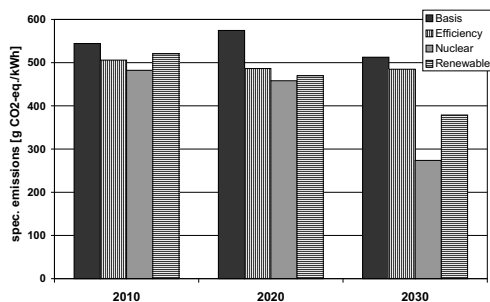


Fig. 3: Specific emissions in various scenarios between 2010 and 2030

Figure 3 shows exemplary the specific emissions [CO₂-eq./kWh] of the electrical energy mix in Germany based on the four trend scenarios with decreasing emissions caused by a decreasing electrical energy demand and population shrinkage. The basic scenario has the highest emissions in all decades. The emissions can be slightly reduced from 550 g CO₂-eq./kWh in 2010 to approximately 512 g in the year 2030.

The results of the simulation on the specific emissions with dispersed generation are shown in figure 4. The CO₂-eq. emissions per kWh in the „NO DG“ variant are the highest with approximately 540 g CO₂-eq./kWh. The emissions of all other variants are marginally below this value.

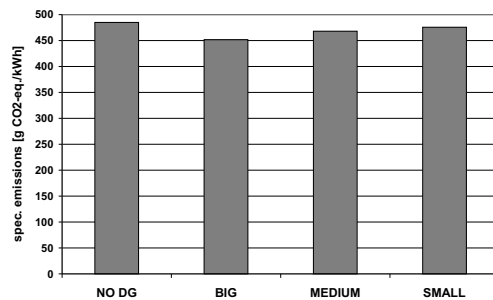


Fig. 4: Specific emissions of the local electrical energy mix by variants

Beside the power generation the additional heat output of the CHP is included in the specific emissions by giving credits based on allocation. The specific emissions can only be slightly reduced in the variants with dispersed generation.

Results of the technical assessment

Figure 5 shows the results of the electrical and thermal energy flows in the distribution network. The amount of electrical energy fed into the distribution network by the overlay system can be reduced by DG. Depending on system layout of the CHP (variation of the CHP power output level) an increased heat output for smaller CHP units can be achieved. The system layout of the CHP units in the „SMALL“ variant are more optimized on increased heat output instead of power output against the power output optimized units in the „MEDIUM“ and „BIG“ variants. Depending on the variant the total amount of generated heat lays between 32 and 47 GWh_{th}.

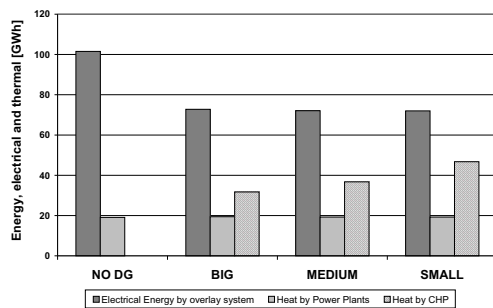


Fig. 5: Energy flows- electrical and thermal

The maximum heat output can be noticed in the in the „SMALL“ variant where the system layout of the CHP units are more optimized on increased heat output instead of power output.

Conclusion and Outlook

The integration of dispersed generation brings up challenges which may have further impacts on structure and organization of today's power grids. No final conclusion can be provided, yet, in which areas and under which preconditions like power flow densities, choice of place to install, generation efficiency and optimal ratings etc., these systems shall be installed and could be efficiently operated with minimum environmental impacts.

The higher system efficiency of CHPs against large condensation power plants which are optimized on power generation make CHP an available option for a sustainable energy supply in future. Whether the consumer heat demand is high enough in future will be analyzed in ongoing research activities at the institute. A decreasing end-

user heat demand in future could reduce the high system efficiency of distributed CHP systems when the heat is not used and lead to higher specific emissions of such systems.

References

- [1] W. Schulz et. al, 2005, *Energiereport IV - Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030, Energiewirtschaftliche Referenzprognose - Schlussbericht*, Federal Ministry of Economics and Technology, Cologne, Germany
- [2] M. Fishedick et. al, 2002, *Langfristszenarien für eine nachhaltige Energienutzung in Deutschland*, Federal Environmental Agency, Berlin, Germany
- [3] K.D. Grill et al., 2002, *Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung*, Enquete-Kommission, Deutscher Bundestag, Berlin, Germany

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

Ganzheitliche Bewertung der Netzintegration von Offshore Windparks in Deutschland

Einen entscheidenden Anteil an der zukünftigen Stromerzeugung in Deutschland wird der Windenergie in der deutschen Nord- und Ostsee zugerechnet. Die installierte Leistung an Windkraftanlagen in Deutschland stieg zwischen 1990 und 2006 von 68 MW auf über 20 GW an. Die Förderung dieser Vorhaben stellt eine besondere Herausforderung dar im Hinblick auf die Integration großer offshore Windparks in das bestehende Versorgungsnetz.

Einleitung

Gesellschaftlich und politisch wird international eine Reduzierung von Treibhausgasemissionen gefordert. Weltweit haben nahezu alle Staaten das Kyoto Protokoll ratifiziert. In Deutschland wurde unter anderem das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) eingeführt, um diese Forderungen zu erfüllen. Dadurch wird vorgegeben, dass bis zum Jahre 2010 12,5% und bis 2020 20% des gesamten Stromes aus Erneuerbaren Energien zu erzeugen sind.

Einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion der CO₂ Emissionen soll neben Wasserkraft, Biomasse und Sonnenenergie die Stromerzeugung durch Windenergie leisten. Deutschland nimmt im Bereich der Windenergieanlagen (WEA) eine Vorreiter-Rolle ein. Seit 1993 ist der Anteil der kumulierten installierten Leistung signifikant durch die hohe Anzahl neu gebauter WEA an Land (onshore) gestiegen (Abb. 1).

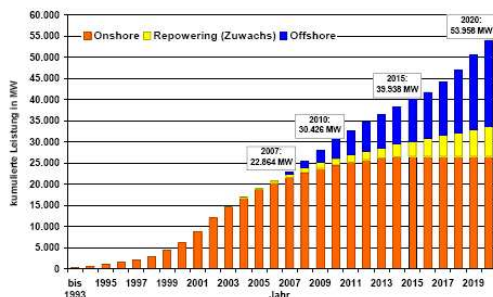


Abb. 1: Entwicklung der Windenergie in Deutschland seit 1990 [1]

Zukünftig wird es im onshore Sektor Repowering Maßnahmen geben; ältere WEA

werden durch neuere und leistungsstärkere Modelle ersetzt. Da sich in der Nutzung von onshore Windenergieanlagen eine Sättigung des Marktes vor allem aufgrund der geringer werdenden Anzahl potenzieller Eignungsflächen für WEA abzeichnet [1], wird für Deutschland geplant, zukünftig große Windparks in Nord- und Ostsee zu errichten, die den geforderten Strom bereitstellen sollen.

Im vorliegenden Bericht werden exemplarisch Ergebnisse ökologischer sowie technischer Analysen eines Szenarios aus der dena-Netzstudie [1] gezeigt. Dabei werden insbesondere mögliche Technologien zur Übertragung der Leistung aus Offshore Windparks ans Festland untersucht. Ziel der Untersuchung ist ein objektiver Vergleich möglicher Übertragungstechnologien anhand ökologischer Auswirkungen und anhand von Lastflussrechnungen.

Technologien zur Leistungsübertragung im betrachteten Szenario der dena-Netzstudie

Beispielhaft wird hier die Anbindung eines Windparks in der deutschen Ostsee vorgestellt (Abb. 2).

Leistung	Einspeisungsspannung	Seekabel	Landkabel	Nennspannung
385 MW	380 kV	122 km	11 km	150 kV

Abb. 2: Ausgewähltes Offshore Windpark-Szenario aus der dena-Netzstudie

Die Netzanbindung des Windparks wird für verschiedene Realisierungen bezüglich

der Übertragungstechniken bei den Seekabeln und der Anbindung an Land bis zum Netzanschlusspunkt vergleichend analysiert. Wechselwirkungen mit dem Verbundnetz werden nicht betrachtet. Analysiert werden die Übertragungstechniken

- Hochspannungsdrehstromübertragung [HVAC] (Seekabel, Landkabel und Freileitungen)
- Hochspannungsgleichstromübertragung [HVDC] (See- und Landkabel)

Seekabelanbindungen mit HVAC und HVDC sind technisch realisierbar. Realisierungen mit Drehstromkabeln haben den Nachteil, dass ab einer Länge von ca. 15 km (380 kV) auf Grund des kapazitiven Ladestroms eine Blindleistungskompensation notwendig ist [2], da ansonsten die Wirkleistungsübertragung eingeschränkt wird. Zur Realisierung von Hochspannungsgleichstromübertragungen mit Kabeln werden derzeit zwei verschiedene Konzepte bezüglich der Gleichrichtertechnik verfolgt:

- Konventionelle Thyristortechnik
- Moderne Isolierschicht-Bipolartransistor (IGBT) Technik

Mit der konventionellen Thyristortechnik können derzeit deutlich größere Leistungen als mit der der IGBT-Technik übertragen werden. In 2006 ist die Leistungsübertragung mit IGBT-Technik auf 350 MW bei 150 kV Nennspannung beschränkt. Für die geplanten Offshore Windparks ist davon auszugehen, dass die übertragbare Leistung steigen wird. Generell ist die Übertragung via Kabel und Freileitung möglich. Allgemein liegt der wesentliche technische Vorteil bei der DC-Übertragungstechnik in der höheren Übertragungskapazität. Allerdings sind die Kosten im Vergleich zu den anderen Möglichkeiten aufgrund der bei dieser Technik benötigten Konverterstationen wesentlich höher. Daher ist der Einsatz der Hochspannungsgleichstromübertragung aus ökonomischer Sicht erst ab einer größeren Distanz sinnvoll. Dies spie-

gelt sich auch in der Bewertung der Übertragungsverluste und in den ökologischen Analysen wider.

Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf die in Abb. 3 dargestellten Übertragungsmöglichkeiten.

Offshore 122 km Onshore 11 km	AC Freileitung	AC Landkabel	DC Freileitung	DC IGBT Landkabel
Systeme / Spannungsniveau	2 / 220kV	2 / 220kV	1 / +/- 600kV	1 / +/- 220kV
Leiterquerschnitt [mm ²]	1x265/35	800/1core	1x560/50	1000
AC (2Syst./220kV/ 800mm ² /1x3core)	A	B		
DC Classic (1Syst./ +/-500kV/1600mm ²)	C	D	E	
DC IGBT (1Syst./ +/-150kV/1000mm ²)	F	G	H	I

Abb. 3: Übertragungsvarianten zum Anschluss des Offshore Windparks

Ergebnisse der Analysen

Grundlage für die Untersuchungen der Windparks ist die Lastflussrechnung von Modellnetzen, die die geplante Anbindung des betrachteten Windparks analog zur dena-Netzstudie abbilden. Mit dieser technischen Analyse wird unter anderem gezeigt, welche Übertragungsvarianten zur Leistungsübertragung aus Offshore Windparks denkbar beziehungsweise geeignet sind. Mit Hilfe der Lastflussrechnung wird dargestellt, welche Verluste bei der Leistungsübertragung bei den verschiedenen Realisierungen auftreten. Abb. 4 zeigt die ermittelten Übertragungsverluste bei den verschiedenen Varianten.

Variante	Übertragungsverluste [MWh] Seeanbindung	Übertragungsverluste [MWh] Landanbindung	Gesamtverluste [MWh]	Verluste bezogen auf Einspeisung
A	171,7	31,9	203,6	4,08 %
B	171,7	5,2	176,9	3,54 %
C	140,1	93,6	233,7	4,68 %
D	140,1	15,5	155,6	3,12 %
E	140,1	15,6	155,7	3,11 %
F	133,4	46,5	179,9	3,61 %
G	133,4	13,0	146,4	2,94 %
H	133,4	9,4	142,8	2,85 %
I	133,4	10,4	143,7	2,87 %

Abb. 4: Übertragungsverluste der betrachteten Kombinationen

Bei dem betrachteten Windpark mit der installierten Leistung von 385 MW ergibt sich aus technischer Sicht ab einer Distanz von

ca. 30 km ein Break-Even Punkt, ab dem mit der IGBT Technologie geringere Übertragungsverluste auftreten.

Der Untersuchungsrahmen für die Ökobilanzierung beinhaltet die Herstellung und Installation der Windenergieanlagen, die interne Verkabelung, Herstellung und Installation der Offshore Plattform inklusive aller auf ihr befindlichen Komponenten, die Herstellung und Verlegung der Kabel auf See und an Land sowie die Herstellung und Installation zusätzlicher Komponenten zur Netzeinspeisung an Land (Kompensation, Konverterstation). Die ökologischen Auswirkungen werden hier anhand der Treibhausgasemissionen vergleichend für die verschiedenen Netzanbindungen dargestellt. Dabei wird gezeigt, welche Emissionen durch die Anbindung des Windparks entstehen. Absolut entstehen dadurch jährlich Emissionen von maximal ca. 3.500 t CO₂-Äquivalent bei der Variante mit dem AC Seekabel und dem AC Landkabel. Dagegen stehen Emissionen von ca. 2.100 t CO₂-Äquivalent bei der Variante mit DC Seekabeln und DC Landkabeln (jeweils IGBT) (Abb. 5).

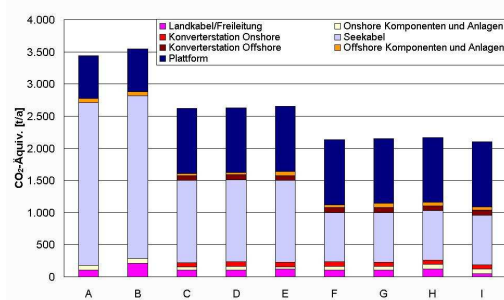


Abb. 5: Treibhausgasemissionen der betrachteten Kombinationen

Den größten Anteil an den Emissionen haben die Seekabel bei den Realisierungen mit AC und klassischen DC Kabeln. Bei Verwendung der IGBT Technologie sind die Auswirkungen durch die Herstellung und Installation der Offshore Plattform am höchsten.

Zusammenfassung

Die zuvor dargestellten Ergebnisse zeigen, dass für die Anbindung des betrachteten Windparks bis zum Netzanschlusspunkt die DC Technologie deutliche Vorteile bringt. Mit der IGBT Variante ist eine Reduzierung der Übertragungsverluste um ca. 39% möglich. Außerdem ergibt sich eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen um ca. 40%. Für geringere Entfernungen zu den Windparks ist die Anbindung mit AC Seekabeln sinnvoll, da dann sowohl die Übertragungsverluste bei DC Realisierungen größer als auch insbesondere die Kosten für die Gleichrichtung dominant sind. Außerdem können derzeit mit klassischen DC Kabeln größere Leistungen übertragen werden, was bei einer größeren installierten Leistung Vorteile für die klassische DC Technologie bringen kann.

Quellen

- [1] Konsortium Dena, *Energiewirtschaftliche Planung für die Netzintegration von Windenergie in Deutschland an Land und Offshore bis zum Jahr 2020 (dena-Netzstudie)*, Deutsche Energie-Agentur, Köln, 2004
- [2] ForWind Oswald-Studie, *Vergleichende Studie zu Stromübertragungstechniken im Höchstspannungsnetz*, ForWind Zentrum für Windenergieforschung der Universitäten Oldenburg und Hannover, 2004

Kontakt

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

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

Assessment of grid integration of offshore wind parks in Germany

Future power generation in Germany is expected to be significantly affected by the implementation of offshore Windparks in the North Sea and in the Baltic Sea. Since 1990 the installed load from wind power has risen from 68 MW to approx. 20 MW in 2006. The support of the planned extension of wind power use brings up challenges regarding the integration of offshore windparks in the existing power grid.

Introduction

Today's society and politics claim the reduction of greenhouse gas (GHG) emissions. Almost all states worldwide ratified the Kyoto Protocol. Beside other approaches, Germany established the Renewable Energy Sources Act (EEG) to observe this claim. A share of 12,5% of the whole power generation must be provided by renewable resources in the year 2010. A share of 20% is claimed for 2020.

Power from wind energy - in addition to hydro power, biomass and solar power - is regarded to make a significant contribution to the reduction of CO₂ emissions. Worldwide, Germany acts as a pioneer regarding wind power generation. Since 1993 the share of accumulated installed load by wind power has risen significantly due to the high amount of newly installed wind turbines onshore (Fig. 1).

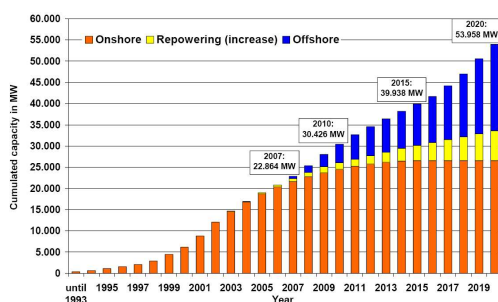


Fig. 1: Wind energy development in Germany since 1990 [1]

In future, regarding the onshore market,

repowering actions will be accomplished. Old wind turbines will be substituted by new ones with higher power output. As a glut on the market of the utilisation of onshore wind turbines becomes apparent, mainly forced by the decreasing number of potential applicability areas [1], plans emerged in Germany to build up large scale wind parks in the North Sea as well as in the Baltic Sea to provide the claimed power.

In this report, exemplary results of economical-ecological and technical analyses of scenarios of the dena study I [1] are shown. In particular, investigations on possible transmission technologies for the transfer of power from offshore windparks to the mainland are accomplished.

Technologies for the power transmission in the considered scenario of dena study I

In the following, the grid connection of one windpark in the Baltic sea will be described (Fig. 2).

Power	PCC Voltage	Sea Cable	Land Cable	Rated Voltage
385 MW	380 kV	122 km	11 km	150 kV

Fig. 2: Considered scenario of dena study I

In doing so, the alternative transmission technologies for grid integration regarding sea cables and the alternative opportunities for the connection to the point of common coupling onshore will be compared. Interaction with the integrated transmission net-

work are disregarded. Considered transmission technologies are

- High voltage alternating current (HVAC) transmission (sea cable, land cable and overhead lines)
- High voltage direct current (HVDC) transmission (sea cable and land cable)

Both HVAC and HVDC seacables are likely opportunities. Regarding HVAC, the appearing disadvantage of that cable solution is given by the necessary reactive power compensation. Forced by the capacitive charging current cables longer then 15 km (380 kV) have to be compensated as otherwise active power flow will be limited [2]. Today, HVDC transmission with cables is realised by two different approaches concerning the rectifier technology:

- Application with conventional thyristor technology
- and applications with modern transistor technology (Insulated gate bipolar transistor; IGBT)

Using the conventional thyristor technology today significantly higher amounts of power may be transmitted compared to the IGBT technology. In 2006 power transmission is limited to 350 MW at the rated voltage of 150 kV using IGBT technology. For the planned offshore wind parks an increase of the transmission capacity is expected. As well cable as overhead lines are feasible technologies. Generally, the major technical advantage of DC-transmission is provided by the higher transmission capacity. However, the cost for that solution may be higher due to the necessary converter stations. Therefore, the application of HVDC technology becomes useful when higher distances will be considered. This is also shown in the assessment of power losses as well as in the ecological analyses.

Results of the accomplished analyses are shown in the following, respecting the

showed transmission combinations Fig. 3.

Offshore 122 km Onshore 11 km	AC Overhead Line	AC Land Cable	DC Overhead Line	DC IGBT Land cable
Systems/ Voltage Level	2 / 220kV	2 / 220kV	1 / +/- 600kV	1 / +/- 220kV
Conductor cross- section [mm ²]	1x265/35	800/1core	1x560/50	1000
AC (2Syst./220kV/ 800mm ² /1x3core)	A	B		
DC Classic (1Syst./ +/-500kV/1600mm ²)	C	D	E	
DC IGBT (1Syst./ +/-150kV/1000mm ²)	F	G	H	I

Fig. 3: Transmission combinations for the grid integration of the above offshore wind-park

Results of the analysis

The assessment of windparks is based on load flow analyses of model networks. These model networks represent the planned grid integration according to the dena study I. In doing this technical analysis, beside other aspects it becomes clear which transmission technology and combination can be suitable respectively capable for power transmission. Load flow analysis shows the generated power losses for the different transmission combinations (Fig. 4).

Combination	Energy losses [MWh] Offshore	Energy losses [MWh] Onshore	Total losses [MWh]	Energy losses w.r.t feed in energy
A	171.7	31.9	203.6	4.08 %
B	171.7	5.2	176.9	3.54 %
C	140.1	93.6	233.7	4.68 %
D	140.1	15.5	155.6	3.12 %
E	140.1	15.6	155.7	3.11 %
F	133.4	46.5	179.9	3.61 %
G	133.4	13.0	146.4	2.94 %
H	133.4	9.4	142.8	2.85 %
I	133.4	10.4	143.7	2.87 %

Fig. 4: Power losses for the considered combinations

Considering the above windpark with an installed load of 385 MW, technically a break-even point at 30 km is determined. Power losses become less with IGBT technology for a higher distance.

In doing the life cycle analysis, production and installation of wind turbines and offshore platforms (regarding all components and devices as well), manufacture and laying of cables (sea and land) as well

as necessary components and devices onshore (compensation, converterstation) for the grid integration are considered. Ecological impacts are shown for the GHG emissions comparing the different grid integration technologies. Apparently, the worst case is given by the realization with AC sea-cable and AC land cable, presented by annual emissions of 3,500 t CO₂-equivalent. The combination of DC sea-cable and DC land cable (both IGBT) leads to the lowest emissions (2,100 t CO₂-equivalent/a) (Fig. 5). The major share of emissions is generated by the sea cables considering AC and classical DC technology. Using IGBT technologies, manufacture and installation of the offshore platform generate the major share of emissions.

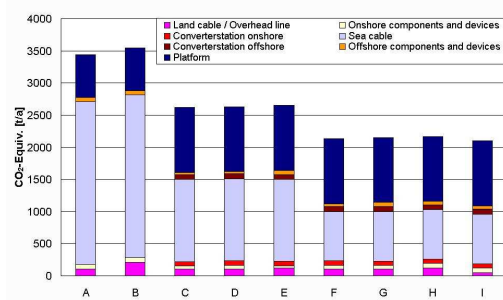


Fig. 5: Greenhouse gas emission for the considered combinations

Conclusion

The above results make clear, that DC technology - IGBT technologies in particular - leads to significant advantages for the grid integration of the considered windpark. Power losses may be reduced by 39%. Additionally, a reduction of GHG emissions

by 40% can be seen. If windparks will be constructed closer to the coast, grid integration with AC sea-cables will be more useful, as either power losses are higher or costs for power electronics are dominant for DC technologies, here. Additionally, today's classical DC technology is capable of higher power transmission, which may lead to an advantage compared to DC with IGBT technology.

References

- [1] Konsortium Dena, *Energiewirtschaftliche Planung für die Netzintegration von Windenergie in Deutschland an Land und Offshore bis zum Jahr 2020 (dena-Netzstudie)*, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Köln, 2004
- [2] ForWind Oswald-Studie, *Vergleichende Studie zu Stromübertragungstechniken im Höchstspannungsnetz*, ForWind Zentrum für Windenergieforschung der Universitäten Oldenburg und Hannover, 2004

Contact

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

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

Erweiterung des Anwendungsbereichs eines Druckberechnungsverfahrens für den Störlichtbogenfall

Es existieren eine Reihe von Möglichkeiten, die Überdruckentwicklung in Schaltanlagen und Schaltanlagenräumen im Störlichtbogenfall zu berechnen. Als besonders nützlich hat sich dabei das „Standardverfahren“ erwiesen, das auf der Lösung eines vereinfachten Systems der hydrodynamischen Grundgleichungen basiert. Aufgrund von Einschränkungen dieses Verfahrens hat es sich als erforderlich erwiesen, dieses zu erweitern. Dieses gilt insbesondere für die Einbeziehung mehrerer Räume und die Einbindung der Wirkung von Störlichtbogen-Energieabsorbern in das Berechnungsverfahren.

Einleitung

Zur Berechnung der Druckentwicklung in elektrischen Anlagen im Störlichtbogenfall existieren zahlreiche Verfahren, die für unterschiedliche Anwendungsbereiche geeignet sind. Für die überwiegende Anzahl der Anwendungen kommen praktisch nur zwei Gruppen von Verfahren zur Anwendung, mit denen die Überdruckentwicklung nicht nur im fehlerbehafteten Schottraum, sondern auch im Aufstellungsraum der Schaltanlage ermittelt werden kann. Die erste Gruppe basiert auf der Lösung der vollständigen hydrodynamischen Grundgleichungen mit einem Computational-Fluid-Dynamics-(CFD)-Solver, mit dem man orts aufgelöste Resultate erzielt [1]. Diese Verfahren sind aufwendig, zur Bedienung wird speziell ausgebildetes Personal benötigt und damit in vielen Fällen für die allgemeine Anwendung weniger geeignet. Die zweite Gruppe von Verfahren begnügt sich mit vereinfachten Systemen der hydrodynamischen Grundgleichungen und liefert raummittelnde Ergebnisse, die einfach und schnell zu erhalten sind [1]. Auf dieser Basis existiert am Institut das Programmpaket *PRESSURE*, das sich für eine Vielzahl von Anwendungsfällen als überaus brauchbar erwiesen hat. Jedoch existieren Einschränkungen in der Anwendbarkeit, die einer Erweiterung bedürfen.

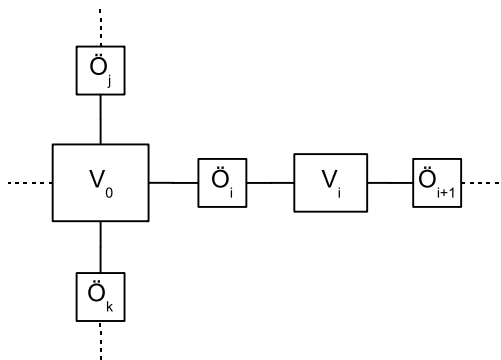
Zur Druckreduzierung in Schaltanlagenräumen werden heutzutage neben Druckentlastungsöffnungen konstruktive Maßnahmen wie Zwischenräume und Lichtbogenenergieabsorber gezielt eingesetzt. Da *PRESSURE* derzeit für Standardsituationen ausgelegt ist (drei zusammenhängende Räume, z. B. Lichtbogenraum, Schaltanlagenraum und Umgebung), ist eine Erweiterung auf mehrere Räume notwendig. Darüber hinaus ist eine Einbindung der Wirkung von Lichtbogenabsorbern wünschenswert.

Einfluss von Zwischenräumen auf die Überdruckentwicklung

Wie jüngste Untersuchungen gezeigt haben, können Zwischenvolumina zwischen Lichtbogen- und Entlastungsraum z. B. Kamine im Schaltfeld, Kabelkeller, Druckentlastungskanäle auf Schaltanlagen die Überdruckbelastung im Schaltanlagenraum bzw. Entlastungsraum bei geeigneter Wahl des Volumens und von Druckentlastungsöffnungen reduzieren [2]. Für eine minimale Druckbelastung des Entlastungsraums müssen die Zwischenraumvolumina und die jeweiligen Druckentlastungsöffnungen optimiert werden und eine ggf. erhöhte Druckbelastung im fehlerbehafteten Schottraum berücksichtigt werden.

Erweiterung von Standardverfahren

Um das vorhandene Programmpaket *PRES-SURE* auf mehr als drei miteinander verbundenen Räume mit zwei verbundenen Entlastungsöffnungen zu erweitern, wurde das Gleichungssystem und die Programmstruktur derart modifiziert, dass mehrere Räume über Druckentlastungsöffnungen miteinander verbunden werden können. Dieses schließt auch die Möglichkeit ein, dass sich der Überdruck in der fehlerbehafteten Schaltzelle in mehrere parallele Räume entlasten kann (Abb. 1).



$V_0(I_k, U_{LB}, k_p, Vol, T, p, \text{Gasart})$ (Lichtbogenraum)

$V_i(Vol, T, p, \text{Gasart})$ (Entlastungsraum)

$\ddot{O}(A, \varphi, \text{Ansprechdruck})$ (Öffnung)

Abb. 1: Grundsätzliche Struktur von Anordnungen

Um plattformunabhängig zu werden, wird das Programmpaket in Java programmiert. Abb. 1 gibt die grundsätzliche Struktur von Anordnungen wieder, die mit dem erweiterten Programmpaket berechnet werden können. Im Programmpaket werden Realgasdaten in Form von Tabellen verwendet. Um die Genauigkeit bei der Interpolation von Zwischenwerten zu verbessern, sollen vermehrt Zwischenwerte der

temperatur- und druckabhängigen Gaseigenschaften wie Wärmekapazität, Enthalpie usw. generiert werden.

Einbindung der Wirkung von Energieabsorbern

Der Einsatz von Störlichtbogen-Energieabsorbern stellt eine weitere konstruktive Maßnahme dar, die Druckbelastung im Entlastungsraum zu reduzieren [2]. Aufgrund der Wärmeaufnahme über die Oberfläche von Kühlgittern wird die Druckbelastung im Entlastungsraum verringert. Zeitgleich verhält sich der Energieabsorber wie ein Strömungshindernis, was in der Regel zu einer höheren Druckbelastung im fehlerbehafteten Schottraum führt. Um die Wirkungen von Energieabsorbern in der Druckberechnung mitberücksichtigen zu können, ist die Modellierung von Energieabsorbern im Hinblick auf Energieaufnahme und Strömungshindernis ins Verfahren erforderlich.

Quellen

- [1] G. Friberg, *Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Druckbelastung in elektrischen Anlagen im Störlichtbogenfall*, Dissertation RWTH Aachen, 1998
- [2] M. Schmale, *Untersuchungen zur Beeinflussung des durch Störlichtbögen verursachten Überdrucks in elektrischen Anlagen*, Dissertation RWTH Aachen, 2006

Kontakt

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

Extension of the application area of a pressure rise calculation method in case of fault arcs

There are a number of possibilities to calculate overpressure development in switchgears and substation buildings in case of internal arcing. In particular, it was shown that the „Standard Calculation Method“, based on solving a simplified system of hydrodynamic equations, is sufficient to solve pressure rise problems in most cases. Due to some limitations of this calculation method, it is thus necessary to be extended. Especially, the number of rooms should be increased and the effect of arc energy absorber should also be included in the calculation method.

Introduction

There are numerous methods for calculating pressure rise in electrical installations in case of fault arcs, which are suitable for different application areas. However, there are only two groups of methods, which are appropriate in most applications. By using these two methods, not only the overpressure development in the compartment with internal arc (arc room) can be determined, but the overpressure development in the switchgear room (relief room) as well. The first group is based on solving the full set of hydrodynamic equations by a Computational Fluid Dynamics (CFD) solver. As a result, spatial resolved pressure developments are obtained [1]. This method is rather complex and specially trained personnel is required to perform the simulations. Hence, this method is not appropriate for general application in many cases. The second group is referred to simplified systems of hydrodynamic equations and yields to average results, which are easy and quick to be obtained [1]. The program package *PRESSURE*, based on this method, was developed to calculate pressure rises in substations in case of fault arcs. It turned out that this program is quite useful for many application cases. Nevertheless, there are still some limitations in the application, which have to be overcome.

Nowadays, in addition to pressure relief openings, constructive measures such as intermediate rooms or buffer volumes and arc energy absorbers are applied to reduce pressure rise in substation buildings. Due to the fact that *PRESSURE* was designed for standard situations (up to three connected rooms e.g. compartment with fault arc, switchgear room, and environment), it is necessary to extend the program to be able to deal with more rooms, so that the investigation with intermediate rooms can be properly performed. Moreover, the integration of the effect of arc energy absorbers on pressure rise in switchgears and substation buildings should also be implemented into the calculation method.

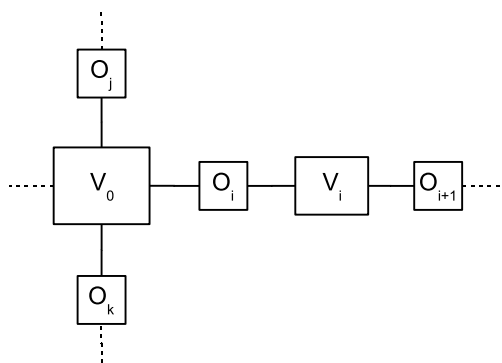
Influence of intermediate rooms on overpressure development

Following from the latest investigations in [2], intermediate volumes between arc room and relief room e.g. chimneys in switchgear, cable cellars, and pressure relief channels on switchgears can reduce the overpressure in the relief room by choosing appropriate volume and size of pressure relief openings. To obtain a minimum pressure load in switchgear room, intermediate volumes and size of each pres-

sure relief openings have to be optimised. By the way, in this case, an increased pressure stress in the compartment with fault arc may occur and has to be taken into account.

Extension of the Standard Calculation Method

To increase the number of rooms in the program package *PRESSURE*, the equation system and program structure have to be modified and extended. The case that the overpressure in the faulty compartment is parallelly released to other relief rooms, which is valid in some designs, is included as well.



$V_0(I_{sc}, U_{arc}, k_p, Vol, T, p, \text{type of gas})$ (arc room)

$V_i(Vol, T, p, \text{type of gas})$ (relief room)

$O(A, \phi, \text{operating pressure})$ (opening)

Fig. 1: Basic structure of the relief system

To be platform-independent, the programming of the extended package will be conducted in Java. Fig. 1 shows the basic layout of the relief system, which can be handled with the new program. In the program, gas data are available in table form. To improve the accuracy from interpolation of reference values, the number of reference values of gas properties such as heat capac-

ity, enthalpy, etc., which depend on temperature and pressure, should be considerably enlarged.

Inclusion of arc energy absorber

A further constructive measure to reduce pressure load in the relief room is the application of arc energy absorber, usually installed in between arc room and relief room [2]. Due to heat absorption over the surface of cooling grids, energy is absorbed and by that overpressure in the relief room decreases. Additionally, arc energy absorber acts as flow resistance, which causes overpressure in arc room and generally leads to pressure reduction in the switchgear room. To be able to consider these effects in the pressure calculation, modelling of arc energy absorber concerning energy absorption and flow resistance into calculation method is required.

References

- [1] G. Friberg, *Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Druckbelastung in elektrischen Anlagen im Störlichtbogenfall*, Dissertation RWTH Aachen, 1998
- [2] M. Schmale, *Untersuchungen zur Beeinflussung des durch Störlichtbögen verursachten Überdrucks in elektrischen Anlagen*, Dissertation RWTH Aachen, 2006/7

Contact

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

Asset Management in Hochspannungsanlagen – Einflussfaktoren und Maßnahmen des Netzbetreibers

Eine optimale Ausnutzung aller Betriebsmittel ist ein wesentliches Ziel des Asset Managements. Forschungsziel ist die Gewinnung neuer Erkenntnisse, um den betriebsmittelspezifischen Zusammenhang zwischen durchgeführten Instandhaltungsmaßnahmen und auftretendem Störungsgeschehen besser beschreiben und darstellen zu können. Mit Hilfe von Alterungs- und Zustandsmodellen soll das zukünftige Verhalten der Assets simuliert werden.

Motivation und Ziel

Ziel laufender Arbeiten ist die Entwicklung verschiedener Alterungs- bzw. Zustandsmodelle für Betriebsmittel der Hoch- und Höchstspannung, die die spezifischen Technologien unterschiedlicher Betriebsmittel berücksichtigen. Anknüpfend an frühere Untersuchungen [1] wird in weiteren Forschungsarbeiten der Einfluss verschiedener Parameter, wie beispielsweise Alter, Schalthäufigkeit, Einsatzbereich, SF₆- oder N₂-Gasdruck, auf den Zustand bzw. das Schaden- und Störungsverhalten eines Leistungsschalters in Abhängigkeit seiner Löscho- und Antriebs-Technologie untersucht. Die Entwicklung und Implementierung einer Darstellung zur Beschreibung der Haupteinflussfaktoren sowie der Korrelation von Instandhaltungsmaßnahmen und Störungsverhalten sind wesentliche Ziele laufender und zukünftiger Arbeiten.

In einer sogenannten Asset Simulation sollen die entwickelten Modelle zusätzlich Sensitivitätsanalysen unterzogen werden, die auch Aussagen zur Eingangsdaten-Qualität liefern sollen.

Einfluss der Datenqualität und der zugehörigen Betriebsprozesse

Wichtigste Voraussetzung für eine richtige Analyse von Betriebsmittel-Daten der Netzbetreiber sowie die daraus abgeleiteten

Aussagen, ist die Kenntniss über die dahinter stehenden Betriebsprozesse, die oft sehr komplex und nicht immer einheitlich sowie eindeutig sind, jedoch maßgebend zur Datenqualität beitragen. Unterschiedliche Auffassungen von Begriffen der Instandhaltung (Inspektion, Wartung, Instandsetzung, etc.) sowie der Betriebsmittel-Ereignisse (Schäden, Störungen, etc.) führen zur Vergrößerung des Vertrauensintervalls womit die Belastbarkeit der Daten und der daraus abgeleiteten Aussagen häufig in Frage gestellt werden müssen.

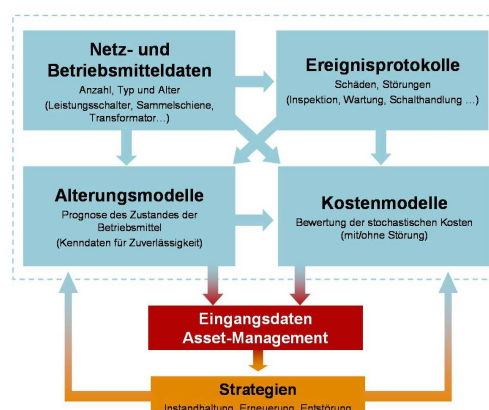


Abb. 1: Einfluss von Daten und Modellen auf das Asset Management

Die Darstellung in Abbildung 1 zeigt den Zusammenhang der Netz- und Betriebsmitteldaten auf die Modellbildung der Alterung und der Kosten, die die Grundlage für das Asset Management liefern. Die daraus entwickelten Strategien für Instandhaltung, Erneuerung und Entstörung haben wieder-

um Auswirkungen auf die Modelle, die typspezifisch ermittelt werden müssen.

Erkenntnisse laufender Arbeiten

In laufenden Arbeiten wurden zur Verfügung gestellte Daten von Leistungsschaltern analysiert, um den Einfluss verschiedener Faktoren auf das Schaden- und Störungsverhalten zu bestimmen bzw. zu konkretisieren. Die allgemeinen Schwachstellen der Leistungsschalter sind mit Hilfe der Abbildung 2 leicht ermittelbar. Die aufgetretenen Störungen sind in der Spannungsebene 110 kV im Wesentlichen auf den Antrieb und die Steuerung zurück zu führen. In den beiden Höchstspannungsebenen verteilen sich die aufgetretenen Störungen nahezu gleichmäßig auf die Komponenten der Steuerung und des Antriebs sowie des Isoliermittels.

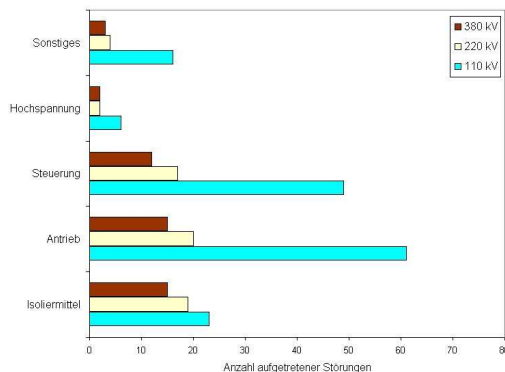


Abb. 2: Störungsverteilung von Hochspannungs-Leistungsschaltern

Weitere Auswertungen werden die Störungen noch detaillierter beleuchten, wobei zusätzlich zwischen den unterschiedlichen Schaltergenerationen (Ölarne, SF₆-Blaskolben-, SF₆-Selbstblas-Schalter, etc.) differenziert wird. Darauf folgend ist zu evaluieren, in welchem Zusammenhang die aufgetretenen Störungen zu den durch Instandhaltung inspierten Schäden stehen, wobei die nach der Insektion durchgeführten Maßnahmen unbedingt zu berücksichtigen sind. Zunächst konzentrieren sich die

Modelle auf Leistungsschalter der 110-kV-Ebene, da hier die Daten auf Grund der größeren Anzahl von Betriebsmitteln belastbarer sind. Zukünftig werden die Arbeiten jedoch auf weitere repräsentative Betriebsmittel (Trennschalter, Wandler, etc.) sowie auf die 220- und 380-kV-Ebene ausgedehnt.

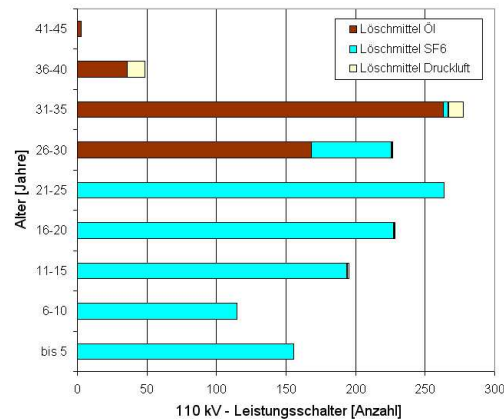


Abb. 3: Altersverteilung von 110-kV-Leistungsschaltern eines Netzbezirks

In Abbildung 3 ist die heutige Altersverteilung der betrachteten Leistungsschalter der 110-kV-Ebene dargestellt. Das Durchschnittsalter der betrachteten Schalter ist größer als 20 Jahre, wobei die über 27-jährigen Schalter überwiegend Öl als Löschmittel verwenden, während die jüngeren, bis 25 Jahre alten Leistungsschalter, ausschließlich mit der SF₆-Technologie arbeiten (Blaskolben-, Selbstblastentechnologie).

Quellen

- [1] N.N., *Zustandsmodell für die Instandhaltungsplanung für einen 123-kV-Leistungsschalter*, FGH e.V., Technischer Bericht 295, 2001

Kontakt

Dipl.-Ing. Stefan Federlein
federlein@ifht.rwth-aachen.de
+49 (0)241 / 80-94959

Asset Management in High Voltage Substations – Influencing Factors and Measures of Network Operators

The optimum utilisation of equipment is the basic aim of asset management. The correlation between maintenance and failure rates for each equipment technology is the main focus of current investigations. New aging models may provide the opportunity to simulate future behaviour of high voltage equipment.

Motivation and objective

The objective of current projects is to develop different models to describe aging and condition of high voltage equipment, considering different specific technologies in particular. Following previous studies [1] the influence of parameters like age, operating cycles, operational area, SF₆- and N₂- gas pressure, will be evaluated regarding condition and respectively damages and failures with respect to different quenching and drive technologies of circuit breakers. The development and implementation of demonstration tools to describe these main influencing factors as well as the correlation of maintenance and failure rates are main topics of current and future projects.

Influence of data quality and related operating processes

The most important requirement for a substantial evaluation of asset data of network operators is the knowledge about the related operating processes. They are often very complex, usually inhomogeneous and not explicit. Therefore the processes are decisive for the data quality. Different views for terms of maintenance (inspection, service, reconditioning, etc.) as well as different events (damages, failures, improvements etc.) induce a bigger confidence interval which reduces the conclusions of data evaluations.

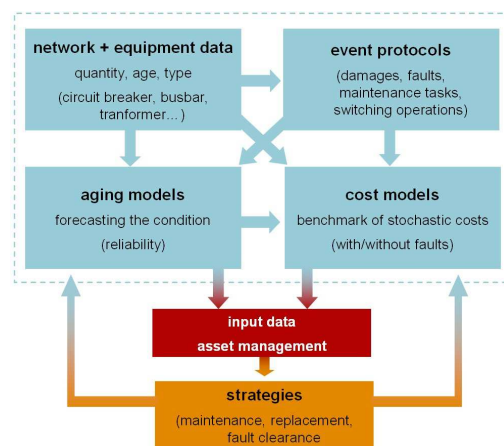


Fig. 1: Influencing models of asset management

Figure 1 shows the coherence of network and equipment data to aging and cost models which establish the basis for asset management. Resulting strategies for maintenance, replacement and fault clearance have in turn effects to the models which have to be investigated for each equipment technology.

Results of current studies

In current studies the provided data of circuit breakers has been analysed to describe the influence of different factors to the damage and failure behaviour. The general weak spots of high voltage circuit breakers become clearer in figure 2. The occurred failures on the voltage level of 110 kV are mainly caused by drives and controllers. Considering extra high voltage levels, ad-

ditionally, there is a high failure rate due to the components of the isolation medium, mostly in case of leakages.

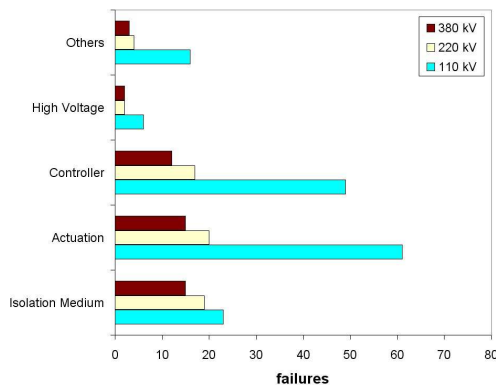


Fig. 2: Distribution of failures of high voltage circuit breakers

Future evaluations will consider the failures more detailed, including the different circuit breaker generations (oil type, SF₆ puffer type, SF₆ self blast circuit breaker, etc.) as well as the correlation of failure behaviour and inspected damages has to be analysed. Therefore it is absolutely necessary to consider the measures which were in progress after the inspections as well. Firstly the focus is on circuit breakers on the voltage level of 110 kV, because of higher amount of data. Future research activities will expand to higher voltage levels as well as to other high voltage equipment (e. g. disconnector, instrument transformer).

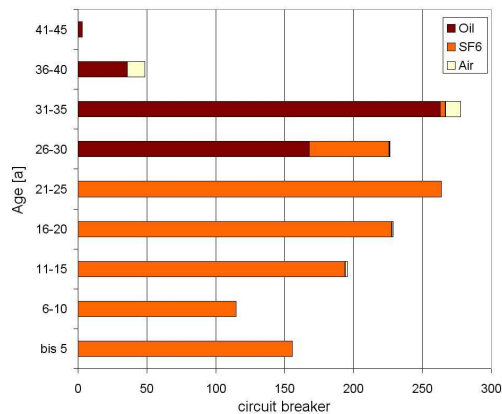


Fig. 3: Age distribution of high voltage circuit breakers on the voltage level of 110 kV

Figure 3 presents the age distribution of to-days circuit breakers in the voltage level of 110 kV. The average age of the considered circuit breakers is roughly 21 years. Breakers older than 20 years are mostly insulated with oil and breakers of the younger generation are mostly insulated with SF₆ (puffer type or self blast circuit breaker).

References

- [1] N.N., *Zustandsmodell für die Instandhaltungsplanung für einen 123-kV-Leistungsschalter*, FGH e.V., Technischer Bericht 295, 2001

Contact

Dipl.-Ing. Stefan Federlein
federlein@ifht.rwth-aachen.de
+49 (0)241 / 80-94959

Statistische Methode zur Bewertung der Ausfallwahrscheinlichkeit von Komponenten in Verteilungsnetzen

Ein wesentlicher Bestandteil umfassender Asset-Management-Verfahren ist die Abschätzung des mit veränderten Strategien sowohl im finanziellen als auch im technischen Bereich einhergehenden Risikos. Die hierfür benötigten Kenntnisse über den Zustand der Komponenten werden in Verteilungsnetzen zweckmäßig anhand statistischer Auswertungen von im Betrieb aufgetretenen Schäden gewonnen. Im Folgenden wird eine statistische Methode in Kombination mit einem probabilistischen Ausfallmodell vorgestellt und exemplarisch angewendet, welche die Ableitung der Eingangsdaten zur Risikoanalyse in Form von Ausfallwahrscheinlichkeiten der Komponenten ermöglicht.

Statistische Auswertung historischer Schadenereignisse

Der Erfolg des Asset-Managements und der damit verbundenen Risikoanalysen ist von Informationen über den Zustand der Komponenten eines Netzes abhängig. Aufgrund der Vielzahl an Komponenten in Mittelspannungs-Verteilnetzen kann eine effektive Zustandsbestimmung mit Hilfe statistischer Verfahren erfolgen. Basierend auf der Auswertung historischer Schadenereignisse von insgesamt zwölf Verteilnetzbetreibern wurde dazu eine spezielle Schadenstatistik entwickelt, die die Ableitung der notwendigen Angaben in Form von Zuverlässigkeitskennwerten ermöglicht [1].

Ein wesentlicher Nutzen der erstellten Statistik ist die Ermittlung der Ausfallhäufigkeiten der Komponenten, welche Aussagen über deren Zustand in Abhängigkeit relevanter Kriterien zulassen. Von besonderem Interesse ist hierbei der Einfluss des Komponententalers, um das Alterungsverhalten entsprechend abbilden und prognostizieren zu können. Ein Beispiel für die sich ergebenden altersabhängigen Ausfallhäufigkeiten pro Jahr zeigt Abb. 1 für Leistungsschalter, wobei zur Nachbildung der Altersabhängigkeit eine Intervallbreite von fünf Jahren gewählt wurde. Als zusätzliche Information sind die Leistungsschalterttypen

eingetragen, auf denen der dargestellte Verlauf beruht. Ziel zukünftiger Betrachtungen ist die typspezifische Bestimmung der Ausfallhäufigkeiten, welche die momentan vorhandene Datenbasis nur ansatzweise zulässt.

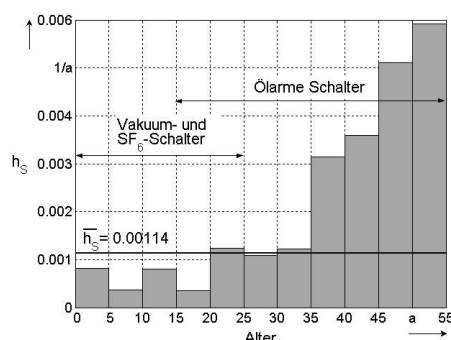


Abb. 1: Altersabhängige Ausfallhäufigkeiten für Leistungsschalter in MS-Schaltanlagen (insg. 56 Ereignisse)

Probabilistisches Ausfallmodell

Die Ausfallhäufigkeit einer elektrischen Komponente wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Das hier vorgestellte Ausfallmodell soll sich zunächst auf die Berücksichtigung der elektrischen Beanspruchung E und thermischen Beanspruchung T beschränken. Die Zeit t bis zum Ausfall einer Komponente kann dann basierend auf der phänomenologischen Theorie des Alte-

rungsverhaltens wie folgt beschrieben werden [2]:

$$t = t_0(E/E_0)^{-n} \cdot e^{-BT}, T = 1/\vartheta_0 - 1/\vartheta$$

Zur Beurteilung des mit einem Komponentenausfall verbundenen Risikos sind Kenntnisse über die Wahrscheinlichkeit und die Auswirkungen eines Ausfalls erforderlich. Während sich Letztere mit Hilfe von Zuverlässigkeitsberechnungen abbilden lassen, werden die Ausfallwahrscheinlichkeiten durch probabilistische Betrachtungen gewonnen. Umfangreiche Betriebserfahrungen und experimentelle Ergebnisse haben gezeigt, dass sich hierfür die Anwendung der Weibull-Verteilung besonders eignet. Durch Einsetzen des beschriebenen Ausfallmodells erhält man eine modifizierte Weibull-Funktion, die die Ausfallwahrscheinlichkeiten bei unterschiedlichen elektrischen Feldstärken und thermischen Belastungen zu verschiedenen Zeitpunkten wiedergibt:

$$p(t, E, T) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{t_0} \right)^\alpha \cdot \left(\frac{E}{E_0} \right)^\beta \cdot e^{\alpha BT} \right]$$

Abschließend soll das probabilistische Modell unter dem Aspekt der zeitlichen Abhängigkeit beispielhaft angewandt werden.

Exemplarische Anwendung

Aus den Ausfallhäufigkeiten der Komponenten, welche auf Basis der entwickelten Schadenstatistik bestimmt wurden, können mit Hilfe des vorgestellten Modells die gesuchten Ausfallwahrscheinlichkeiten berechnet werden. Dazu wird die Verteilungsdichtefunktion, die sich durch Ableitung der Weibull-Funktion nach der Zeit ergibt, über die Methode der kleinsten Fehlerquadrate an die relativen Häufigkeiten angepasst. Abb. 2 zeigt die so gewonnenen

Ausfallwahrscheinlichkeiten für Leistungsschalter, Lastschalter, HS/MS- und MS/NS-Transformatoren über der Zeit, welche als Eingangsdaten für eine Risikoanalyse dienen können.

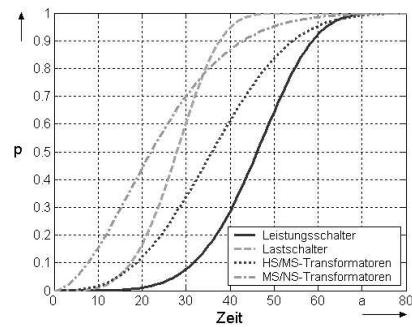


Abb. 2: Ausfallwahrscheinlichkeiten für Leistungsschalter, Lastschalter, HS/MS- und MS/NS-Transformatoren

Es sei darauf hingewiesen, dass die hier betrachteten Komponenten einer regelmäßigen Instandhaltung unterlagen.

Quellen

- [1] M. Schwan, K. Schilling, U. Zickler, A. Schnettler, *Component Reliability Prognosis in Asset Management Methods*, in Proc. 9th PMAAPS, 2006
- [2] 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*, in Proc. 15th PSCC, 2005

Kontakt

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

Statistical Approach for Evaluation of Component Failure Probability in Distribution Systems

An essential element of comprehensive asset management procedures is the assessment of the financial and technical risk associated with changed strategies. In distribution systems the required knowledge on component condition is practically achieved by means of statistical evaluation of damages occurred in operation. In the following a statistical approach combined with a probabilistic failure model is introduced and applied exemplarily. It enables the derivation of input data for risk analysis in terms of failure probability of network components.

Statistical Analysis of Historical Damage Events

The success of asset management and the associated risk analysis depends on information on the condition of components of a considered network. Due to the multitude of equipment in medium voltage distribution systems statistical approaches can be effectively used to estimate the component state. Therefore a special damage statistic based on the analysis of historical damage events provided by twelve network operators was developed. It enables the derivation of the required knowledge in terms of component reliability data [1].

The estimation of the component failure frequency is one essential benefit of the created statistic providing information on component condition in dependency on relevant criteria. At this, the impact of component age is of special concern to reproduce and predict the ageing behaviour respectively. An example for the resulting age related failure frequencies per year is given by Fig. 1 for circuit breakers. The chosen width of time intervals amounts five years to reproduce the dependency on age. Additional information is given by the shown types of circuit breaker on which the presented characteristic is based. Future considerations aim at the type specific evaluation of failure frequencies which the cur-

rently existing database allows only in a rudimental manner.

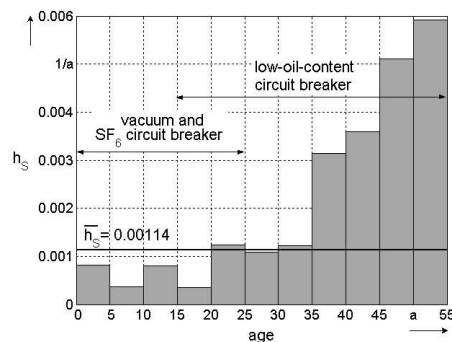


Fig. 1: Age related failure frequencies of circuit breakers in medium voltage switchgear stations (56 events in total)

Probabilistic Failure Model

The failure frequency of an electrical component is influenced by several factors. The introduced failure model is limited to the consideration of the electrical stress E and thermal stress T at this stage of investigation. Based on the phenomenological theory of ageing the time t to failure can be described as follows [2]:

$$t = t_0 (E/E_0)^{-n} \cdot e^{-BT}, T = 1/\vartheta_0 - 1/\vartheta$$

The assessment of the risk of a component failure requires knowledge on the probability and on the effects of a failure. While the effects can be determined by means of

reliability calculations, the failure probabilities are gained by probabilistic considerations. Comprehensive operational experiences and experimental results have shown that the application of the Weibull distribution is especially suited for this purpose. A modified Weibull function is achieved by applying the proposed failure model. It represents the failure probability for different electric field strengths and thermal stresses at varying times:

$$p(t, E, T) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{t_0} \right)^\alpha \cdot \left(\frac{E}{E_0} \right)^\beta \cdot e^{\alpha B T} \right]$$

The shape parameters α and β can be determined by approximation of the function on experimental results or statistical values. Concluding the probabilistic model is applied exemplarily under the aspect of time dependency.

Application Examples

The sought failure probabilities can be calculated by means of the presented model from the component failure frequencies determined on the basis of the developed damage statistic. For this purpose the frequency density function - which is achieved by deriving the Weibull function with respect to time - is approximated on the relative frequencies using a least squares fit method. Fig. 2 shows the resulting failure probabilities of circuit breakers, load interrupter switches, transmission and distribution transformers depending on time. These curves can be used as input data of risk analysis respectively.

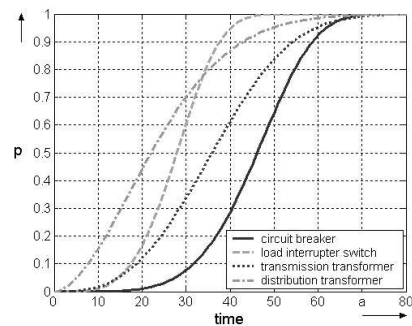


Fig. 2: Failure probabilities of circuit breakers, load interrupter switches, transmission and distribution transformers

It has to be noticed that the components under consideration were maintained regularly.

References

- [1] M. Schwan, K. Schilling, U. Zickler, A. Schnettler, *Component Reliability Prognosis in Asset Management Methods*, in Proc. 9th PMAPS, 2006
- [2] 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*, in Proc. 15th PSCC, 2005

Contact

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

Einfluss des Elektrodenabbrandes auf das Schaltverhalten eines SF₆-Selbstblasschalters

Dissertation: Dr.-Ing. Robert Dommerque

Tag der mündlichen Prüfung: 08. Februar 2006

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

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Kay Hameyer

In der elektrischen Energietechnik werden Leistungsschalter als Sicherheitselemente eingesetzt. Das Funktionsprinzip moderner Leistungsschalter beruht auf der Löschung des bei der Schalthandlung entstehenden Lichtbogens. Dieser Lichtbogen brennt zwischen den sich öffnenden Kontakten und wird bei der neuesten Generation von Leistungsschaltern, dem SF₆-Selbstblasschalter, in Isolierstoffdüsen geführt. Durch den Energieeintrag des Lichtbogens verdampft ein Teil dieser Isolierstoffdüsen, und es kommt zu einer Gasströmung in Richtung eines Auslassvolumens und einer Druckkammer, verbunden mit einem deutlichen Druckanstieg. Aufgrund des Energieumsatzes in der Schaltstrecke wird jedoch nicht nur Düsenmaterial abgedampft, sondern auch ein Teil der Strom führenden Elektroden. Ein Teil dieses Abbrandes strömt in die Druckkammer und führt dort zu einer Verunreinigung des Löschgases. Die Zusammensetzung des Löschgases hat jedoch einen entscheidenden Einfluss auf die Kühlung des Lichtbogens und damit auf das Abschaltvermögen des Leistungsschalters. Eine systematische Untersuchung des Einflusses des Elektrodenabbrandes auf das Ausschaltvermögen ist daher Gegenstand dieser Arbeit.

Einleitung

Die Funktionsweise des „einfachen“ Selbstblasschalter ist in Abbildung 1 dargestellt und wird im Folgenden erläutert. Alle in der Darstellung sichtbaren Elemente befinden sich in einer SF₆-Atmosphäre. Nach der Trennung der Kontakte (1) wird der Schaltlichtbogen (2) in einer Düse aus Isolierstoffmaterial (3) geführt. Während der Hochstromphase wird ein Teil des Düsenmaterials sowie Teile der Strom führenden Elektroden durch den Lichtbogen abgebrannt. Dieser Masseneintrag in den Düsenraum erzeugt dort einen hohen Druck (clogging Effekt), woraus eine Massenströmung in die Druckkammer (4) resultiert. Dort vermischt sich das eintretende heiße Gas, hauptsächlich bestehend aus ver-

dampftem Düsenmaterial, aber auch aus verdampftem Elektrodenmaterial, mit dem kalten SF₆ und führt zu einem Druckanstieg.

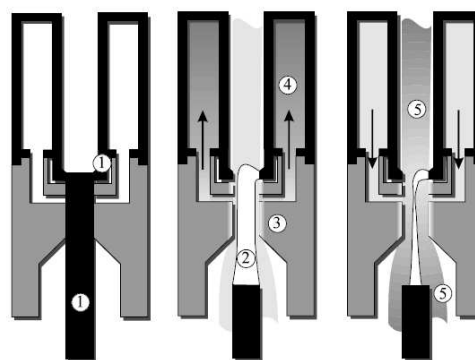


Abb. 1: Funktionsprinzip des Selbstblasschalters

Der Druck im Düsenraum ist unter anderem eine Funktion des im Lichtbogen geführten Stromes und wird nach dem Erreichen des Strommaximums stetig geringer. Sobald dieser Druck im Düsenraum und der aufgebaute Druck in der Druckkammer gleiche Werte erreichen, setzt eine Strömungsumkehr aus der Druckkammer in den Düsenbereich ein. Der Lichtbogen wird damit durch das in der Druckkammer gespeicherte Gas beblasen (5). Durch diese Beblasung wird dem Lichtbogen so viel Energie entzogen, dass zum Zeitpunkt des natürlichen Stromnulldurchganges die Schaltstrecke vom leitenden in den isolierenden Zustand übergeht.

Da durch den Lichtbogen Material der Strom führenden Elektroden abgebrannt wird und dieses in die Lichtbogenzone bzw. in die Druckkammer gelangen kann, wird das Löschgas durch diesen Abbrand verunreinigt und damit das Schaltverhalten des Leistungsschalters eingeschränkt. Der quantitative Einfluss einer solchen Verunreinigung auf den Lichtbogenwiderstand ist bisher nicht vollständig geklärt. Daher ist eine detaillierte Untersuchung dieses Sachverhaltes für die Entwicklung von Selbstblassschaltern eine wesentliche Aufgabe. Die Klärung des Einflusses des Elektrodenabbrandes auf den Lichtbogenwiderstand und damit auf das Schaltverhalten eines Selbstblassschalters kann durch die Messung des Widerstandes bei Beblasung mit einem verunreinigten Löschgas untersucht werden.

Versuchsaufbau

Zur Durchführung der experimentellen Arbeiten wird ein Versuchsstand nach Weil-Dobke aufgebaut, der die zum Abbrand der Elektroden notwendige Stromstärke im mehrfachen kA -Bereich über eine 50 Hz Halbschwingung zur Verfügung stellt. Die zur Bestimmung des Ausschaltvermögens

einer Schalteranordnung notwendigen elektrischen Belastungen sind durch den Versuchsstand möglich.

Weiterhin wird ein Modellschalter konzipiert, der im Bezug auf die Strömungseigenschaften und die Stromdichten realen Schaltern entspricht. Der Aufbau des Modellschalters erlaubt eine maximale Verunreinigung der zum Verlöschen des Lichtbogens notwendigen Gasströmung durch den Abbrand der Anode. Der Grad dieser Verunreinigung kann durch einfache Änderungen der Geometrie reduziert werden.

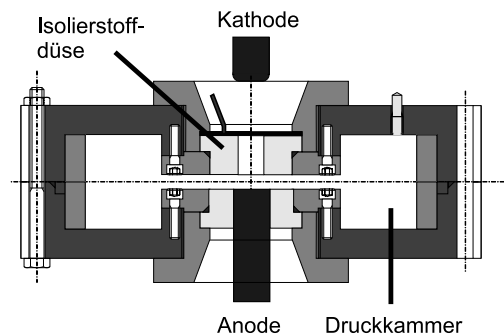


Abb. 2: Ein-Düsen-Anordnung

Die verwendete Schalteranordnung ist in Abbildung 2 dargestellt. Bei dieser Schalteranordnung wird die Anode so weit in den Schalter eingelassen, dass sie bündig mit der unteren Isolierstoffdüse abschließt. Der Außendurchmesser der Anode und der Innendurchmesser der Isolierstoffdüse betragen jeweils 13 mm. Durch diesen Aufbau wird sichergestellt, dass kein abbrennendes Elektrodenmaterial entlang der Elektrode entweichen kann und der komplette Abbrand in die Lichtbogenzone oder in die Druckkammer strömt. Bei dieser Anordnung trägt nur die obere Isolierstoffdüse zum Druckaufbau bei. Der Durchmesser der oberen Isolierstoffdüse beträgt in dieser Anordnung 10 mm. Durch eine Vergrößerung des Durchmessers der unteren Isolierstoffdüse bei gleich bleibendem Anodenradius entsteht zwischen der An-

ode und der Isolierstoffdüse ein Ringspalt, der als zusätzlicher Auslass dienen kann (nicht dargestellt). Somit kann der Verunreinigungsgrad des Löschgases bei diesem Versuchsaufbau variiert werden.

Die Bestimmung des Ausschaltvermögens der einzelnen Modellschalteranordnungen wird durch zeitlich hochauflösende Messungen im Stromnulldurchgangsbereich durchgeführt. Es wird eine Methode erarbeitet, bei der durch die Berücksichtigung der Streukapazitäten und -induktivitäten der Strom, die Spannung, wie auch die Strom- und die Spannungsteilheiten im Stromnulldurchgang ermittelt werden können. Durch die aus diesen Messungen resultierende Berechnung des Lichtbogenwiderstandes wird eine Einteilung der einzelnen Schalthandlungen durchgeführt und die zu einer erfolgreichen Stromunterbrechung notwendigen Lichtbogenwiderstände klassifiziert. Zur Bestimmung des Ausschaltverhaltens wird die Beziehung des Lichtbogenwiderstandes 200 ns vor dem eigentlichen Stromnulldurchgang und der Stromteilheit bezogen auf den absoluten Beblasungsdruck verwendet.

Ergebnisse

Zur Bestimmung des Einflusses der Löschgasverunreinigung auf das Schaltverhalten wird die vorgestellte Schalteranordnung mit zwei verschiedenen Anodenmaterialien auf ihr Ausschaltvermögen überprüft. Zum einen wird eine Elektrode aus Wolfram/Kupfer verwendet, zum anderen eine Anode aus Graphit. Die Graphitelektrode (C-Elektrode) hat keinen Einfluss auf das Ausschaltverhalten, da Graphit als Kohlenstoff abbrennt, welches auch in dem Düsenmaterial vorhanden ist. Der maximale Belastungsstrom in der Hochstromphase wird zu $\hat{i} = 12 \text{ kA}$ gewählt.

Der Vergleich der gemessenen Lichtbogenspannungen bei Verwendung der un-

terschiedlichen Elektroden ist in Abbildung 3 dargestellt. Bis zu einem Zeitpunkt von $t = 6 \text{ ms}$ sind beide Spannungsverläufe nahezu identisch. Nach diesem Zeitpunkt kann eine Verringerung der Brennspannung bei der Verwendung der W/Cu-Elektrode gegenüber der Brennspannung mit der C-Elektrode beobachtet werden. Der Zeitpunkt dieser Reduzierung stimmt mit dem in Simulationen gefundenen Entstehungszeitpunkt eines W/Cu-Lichtbogens überein und ist auf eine höhere Leitfähigkeit des Lichtbogens aufgrund des Kupfergehaltes zurückzuführen.

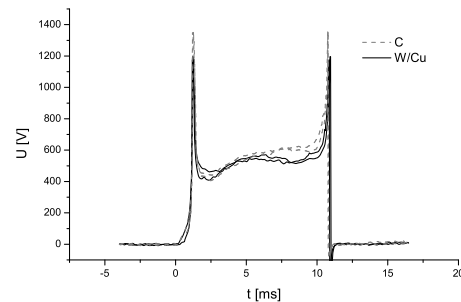


Abb. 3: Vergleich der Bogenspannung bei Verwendung einer W/Cu- und C-Elektrode

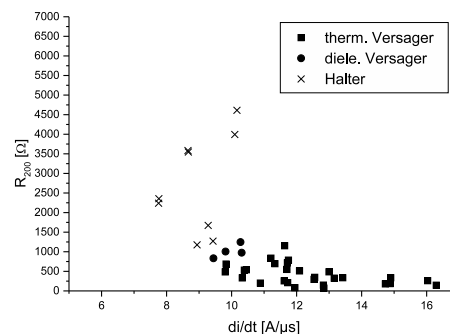


Abb. 4: C-Elektroden-Anordnung: Lichtbogenwiderstand R_{200} 200 ns über der Stromdichte im Stromnulldurchgang. Thermische Versager sind mit einem Quadrat, dielektrische mit einem Kreis und erfolgreiche Schalthandlungen mit einem Kreuz markiert.

In Abbildung 4 ist das Ausschaltvermögen der Anordnung mit der Graphit-Elektrode dargestellt. Der Widerstand R_{200} ist über der Stromsteilheit di/dt aufgetragen. In dem Bereich, in dem die Stromsteilheit größer als $10,5 \text{ A}/\mu\text{s}$ ist, werden nur thermische Versager gemessen, in dem Bereich bis $9,4 \text{ A}/\mu\text{s}$ sind thermische und dielektrische Versager wie auch erfolgreiche Schaltungen zu finden. Unterhalb dieser Grenze treten keine Schaltversager mehr auf, so dass für das thermische Ausschaltvermögen dieser Anordnung der Wert der Stromsteilheit des letzten thermischen Versagers mit $9,8 \text{ A}/\mu\text{s}$ angegeben werden kann.

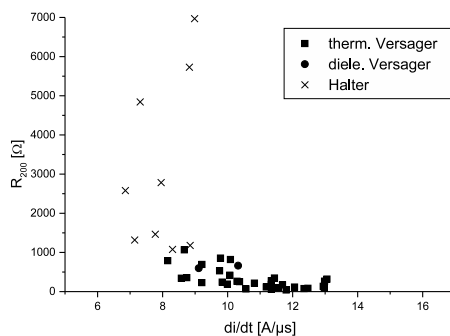


Abb. 5: W/Cu-Elektroden-Anordnung: Lichtbogenwiderstand R_{200} 200 ns über der Stromdichte im Stromnulldurchgang. Thermische Versager sind mit einem Quadrat, dielektrische mit einem Kreis und erfolgreiche Schalthandlungen mit einem Kreuz markiert.

In Abbildung 5 ist das Ausschaltvermögen der Anordnung bei Verwendung einer W/Cu-Elektrode dargestellt. Unterhalb

einer Stromsteilheit von $8,1 \text{ A}/\mu\text{s}$ werden keine thermischen oder dielektrischen Versager mehr gemessen, so dass für das thermische Ausschaltvermögen dieser Anordnung der Wert der Stromsteilheit von $8,1 \text{ A}/\mu\text{s}$ bestimmt werden kann. In dem Bereich von $8,1 \text{ A}/\mu\text{s}$ bis $8,9 \text{ A}/\mu\text{s}$ kann bei dieser Anordnung ein Mischbereich festgestellt werden, in dem auch erfolgreiche Stromunterbrechungen aufzufinden sind.

Zusammenfassung

Der Unterschied der so ermittelten Ausschaltgrenze der Anordnung bei Verwendung einer W/Cu-Elektrode und einer C-Elektrode gibt den Einfluss des Elektrodenabbrandes auf das Ausschaltvermögen wieder. Durch diese unterschiedliche Ausschaltgrenze in Kombination mit den durchgeführten Simulationen ist eine Verminderung des Ausschaltvermögens von 21 % bei einer W/Cu-Löschgasverunreinigung von 0,9 % nachweisbar.

Kontakt

Dr.-Ing. Robert Dommerque
robert.dommerque@nexans.com
++49/(0)2233/486051

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

Investigation on No-load Mechanical Endurance and Electrical Degradation of a Circuit Breaker Model under Short Circuit Current Interruption

PhD Thesis: Dr.-Ing Thanapong Suwanasri

Date of the oral examination: February, 8th, 2006

Reporter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Armin Schnettler
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans-Jürgen Haubrich

The demand on reducing circuit breaker failure, extending service life, increasing equipment reliability and lowering the related operating and maintenance costs are nowadays of prime importance for the electricity supply network. According to statistics, the major failure mode is originated from operating mechanism, whereas interrupter has the highest percentage of failure in high voltage component. Thus, the method to facilitate the assessment of internal mechanical conditions by using commercially available devices without opening major parts and the experimental investigation on electrical erosion inside the interrupter were performed in this work.

Objectives

The no-load mechanical endurance of an industrial type circuit breaker and the electrical degradation of a circuit breaker model under short circuit condition were studied and reported in this work [1]. The objective is to find a non-invasive method to access the internal mechanical condition of the circuit breaker without opening the major parts, to investigate the electrical degradation due to the current interruptions, and to find a method to predict the erosion and the remaining lifetime of the circuit breaker.

bility of results. The maintenance effects were also observed from the on-site measurement with the second circuit breaker. Then, the no-load switching test up to 6.000 switching operations and the subsequently simulated defects, such as the operation without bush in the connecting rod, fix contact B manipulated to a damage, operation without the connecting rod between the mechanism and the interrupter, and operation until the cut connecting rod is broken, were executed with this reference circuit breaker.

Mechanical endurance investigation

An 110kV industrial type SF_6 puffer circuit breaker with a hydraulic operating mechanism served as a reference in the laboratory test environment. At first, the comparison of the measurement results from three circuit breakers of the same type showed a good agreement and verified the reliability

Result

Both conventional and vibration measurements were applied. The vibration analysis was done in both frequency and time domain using signal envelope for event timing extraction. From the analysis of the measured signals, the significant events occurring during circuit breaker operation, e.g. armature move-

ment, latch release, motion start of pole and operating mechanism, arcing contact and fix contact touching and motion stop, can be determined as shown in Fig. 1.

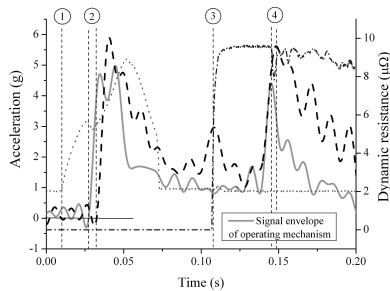


Fig. 1: Example of signal envelope for event timing extraction

The mechanical degradation during 6,000 switching operations was relatively small and no significant changes could be determined. After testing, the circuit breaker still operates correctly. By means of the variation of operating conditions, the variation of the auxiliary supply voltage and hydraulic oil pressure are detectable, whereas the significant changes cannot be determined from the variation of SF_6 pressure. Simulated defects, the operation without bush in the connecting rod and a damaged fix contact cannot be distinguished by measurement. More severe defects, such as the operation with a partly cut connecting rod or without connecting rod, show significant changes in the contact timing and vibration signal envelope.

Conclusion

The vibration signal envelope, operating time, coil current and dynamic contact resistance measurements are recommended as a tool for circuit breaker diagnostics because of their sensitivity to detect the changes in operating conditions and the possibility to access the internal mechanical events from the outside measurement. Even though, the good agreement between the measurement and the theoretical cal-

culation was verified, the vibration analysis in the frequency-domain is not recommended owing to its sensitivity to the circuit breaker's installation method.

Outlook

The analysis of the deviation from the reference base line to evaluate the circuit breaker conditions needs further development, such as data collection from the field measurement, parameter extraction methods and the expert system for determining the final conclusions. The economical initial- and operating-costs as well as the simplicity in application, installation and result interpretation should be considered when applying the monitoring and diagnostic techniques.

Electrical degradation investigation

The electrical degradation of the interrupting unit of industrial type circuit breakers is difficult to access. Hence, the investigation on the electrical degradation by focusing on the nozzles and the electrodes under current interruption was performed with a reduced-size SF_6 self-blast circuit breaker model and a synthetic test circuit, because of the extensive use of nozzle ablation, the possibility for parameter variation and the reduction of cost and time. The impact of the interrupted current amplitude (from 2kA to 7.5kA) on the degradation was the primary investigation, while the influence of the pressure volume, arcing time and recovery voltage on the electrical degradation was subsequently determined. The electrical degradation after each current interruption was determined in term of the total mass losses of the nozzles and the electrodes; geometry changes of the nozzle; ablation factor or the mass loss per energy; mass losses along the nozzle column; and the impact of nozzle widening on the pressure build-up and the gas flow.

Result

The investigation with variable current amplitudes was performed with the consecutive tests on one pair of nozzle until thermal failure occurred. For 4.9kA current (1.3kV charging voltage) the circuit breaker model can withstand up to six interruptions and four interruptions for 6kA current (1.5kV charging voltage). A linear relationship between the mass losses of the nozzles as well as the electrodes and the current amplitude can be determined. The current in a 8mm nozzle is approximately 26% higher than that in a 5mm nozzle, but it only causes a slight increase in the mass loss of the nozzles due to less radiation flux density at the nozzle wall. This higher current causes more significant mass loss of the electrodes, which depends primarily on the current amplitude and the arcing time. The ablation factor is approximately 16mg/kJ for nozzle, whereas it is 10mg/kJ and 10.8mg/kJ for electrode when testing with 5mm and 8mm nozzle respectively. From the linear relationship between the cumulative mass loss of the nozzle and the cumulative energy, the number of successful interruptions for 2.5kA current (1kV charging voltage) can be estimated.

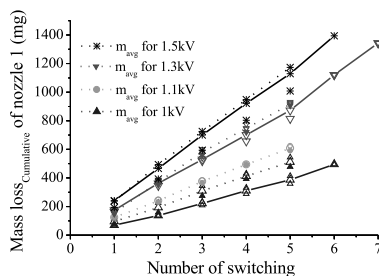


Fig. 2: Cumulative mass loss of nozzles in function of number of switching

Furthermore, the nozzle geometry changes were determined by measuring three diameters around the nozzle edge after each switching operation. The cross section profile of the nozzle after five switch-

ing operations shows the roughness of the surface, enlarged diameter and roundness around the edge. With the aid of a digitizer software the exact geometry changes can be obtained and the volume loss and mass loss calculated from the obtained geometry agrees well with the measured mass loss. The determination of the mass losses of each section along a nozzle column provides a better understanding of the locally ablated mass. The influence of nozzle widening on the pressure build-up and gas flow was examined. After each switching operation, the normalized pressure build-up is reduced and its maximum is reached faster (see Fig. 3). From the relationship between normalized pressure and the number of switching operations, the drop in pressure before an interruption failure occurs can be seen.

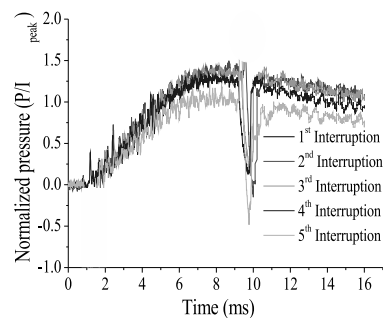


Fig. 3: Plot of normalized pressure waveform at each interruption

The impact of a shorter arcing time and a smaller expansion volume causes the reduction in the mass loss of the nozzles and the electrodes, the smaller increment of nozzle diameter as well as a lower ablation factor. When using 0.5l pressure volume, a higher pressure and a higher pressure gradient occur and the arcing time is reduced. The higher recovery voltage causes nearly no significant change on the electrical erosion because of the lower energy.

There are two methods to estimate the allowable number of interruptions and the re-

maintaining lifetime t_r ; the simplified linear extrapolation

$$t_r(\%) = [1 - \sum \frac{N_i I_{SCi}}{N_{allow(max)} U_{SC(max)}}] * 100$$

and the exponential decay function

$$t_r(\%) = [1 - \frac{1}{a} \sum N_i (\frac{I_{SCi}}{I_{SC(max)}})^b] * 100$$

where a and b are constant depending on circuit breaker type. The exponential decay function is more reasonable than the simplified linear extrapolation. From the linear relationship between the mass losses and $\int i^X dt$, the nozzle ablation (5.3mg/As) and the contact erosion (5.06mg/As) per ampere-seconds can be determined. Thus, only the measurement of the short circuit current and time implies the mass losses of the nozzles and the electrodes. This method is only applicable for the circuit breaker model but it can be adapted to real circuit breakers by using $\int i^X dt$. Applying the wear equivalent law, the allowable number of interruptions as a function of the breaking current to rated short-circuit current ratio can be determined as shown in Fig. 4. The constants a and b of this relationship calculated from experimental results are in good agreement with other experimental studies.

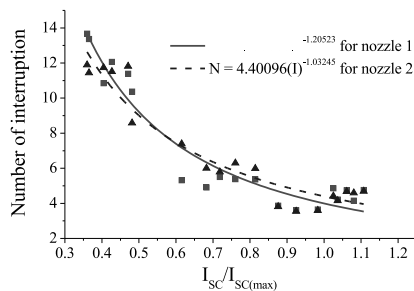


Fig. 4: Allowable number of interruption as a function of breaking current ratio for nozzle consideration

Conclusion

Regarding the electrical erosion of the nozzle and the electrodes, the mass losses per switching and per energy; and the geometry change of nozzle especially between the arcing column and the expansion chamber were investigated. Moreover, volume

loss and mass loss along the nozzle column; its effect on the pressure build-up reduction; and the dependences of mass losses on interrupting current amplitude, $\int i dt$ and $\int i^2 dt$; have been determined. Furthermore by applying the wear equivalent law, the allowable number of interruption in function of the breaking current to rated short-circuit current ratio and the remaining lifetime can be determined. This result will be used to verify the accuracy of simulation tools in order to visualize the aging process, to evaluate the interrupter condition and to minimize the expensive experiment tests.

Outlook

Further investigations to improve and verify the accuracy of the nozzle ablation and contact erosion models in the CFD simulation need to be performed in order to use the simulation as a powerful tool to evaluate the interrupter condition and to minimize the demand on performing expensive experimental tests.

Reference

- [1] T. Suwanasri, *Investigation on No-load Mechanical Endurance and Electrical Degradation of a Circuit Breaker Model under Short Circuit Current Interruption*, Institut für Hochspannungstechnik, RWTH Aachen, Dissertation, 2006

Contact

Dr.-Ing. Thanapong Suwanasri
thanapongs@kmitnb.ac.th
++66 (2) 9132500 Ext 1036

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

Untersuchungen zur Hochfrequenzkonditionierung von Vakuumschaltkammern

Dissertation: Dr.-Ing. Bernhard Heil

Tag der mündlichen Prüfung: 09. Februar 2006

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Armin Schnettler
Univ.-Prof. Dr.-ir. Rik W. De Doncker

Zur Steigerung der Spannungsfestigkeit von Vakuumleistungsschaltern wird die Hochfrequenzkonditionierung als neues Verfahren entwickelt, bei dem mit hochfrequenten Strömen die Konditionierung der Vakuumschaltstrecke erfolgt. Ziel der Untersuchung ist es, die Hochfrequenzkonditionierung als Alternative zu bestehenden Konditionierungsverfahren zu untersuchen sowie die mögliche weitere Spannungsfestigkeitssteigerung zu evaluieren.

Einleitung

Die Vakuumschalttechnik wird in der Mittelspannungsebene aufgrund der hohen Zuverlässigkeit, hohen Schaltspielzahlen, Wartungsfreiheit sowie langen Lebensdauer bevorzugt eingesetzt. Im Gegensatz zu gasisolierten Schaltern hat die Oberfläche der Kontaktstücke in einer Vakuumschaltkammer einen wesentlichen Einfluss auf die Spannungsfestigkeit. Treten unter dem Einfluss eines elektrischen Feldes Ladungsträger aus der Kontaktstückoberfläche aus, werden diese im Kontaktpalt beschleunigt, ohne dass es durch Stoßprozesse zu einer deutlichen Abgabe der aufgenommenen Energie kommen kann. Beim Aufprall auf die Kontaktstückoberfläche können weitere Ladungsträger generiert werden, wodurch schließlich ein Durchschlag eingeleitet werden kann. Die erforderliche Spannungsfestigkeit einer Vakuumschaltstrecke wird erst durch eine Bearbeitung der metallischen Oberflächen innerhalb der Vakuumschaltkammer erreicht. Eine mechanische Bearbeitung ist hierfür nicht ausreichend. Alle gängigen Verfahren zur Konditionierung von Vakuumschaltkammern, mit der eine erforderliche Spannungsfestigkeit erreicht wird, nutzen strombegrenzte Durchschläge zur Beseitigung von Emissionszen-

tren, von denen ein Durchschlag ausgeht.

Die entwickelte Hochfrequenzkonditionierung ist ein Verfahren zur Konditionierung von industriellen Vakuumschaltkammern, bei dem hochfrequente Ströme im kHz-Bereich eingesetzt werden. Durch hohe Stromsteilheiten vor und hohe Spannungssteilheiten nach einer Stromunterbrechung in einem Stromnulldurchgang kann ein Wiederzünden einer Vakuumschaltstrecke erzwungen werden.

Da eine Konditionierung nur dann erfolgreich ist, wenn alle kritischen Emissionszentren beseitigt werden, ist die räumliche Verteilung der auftretenden Lichtbögen eine wichtige Information zur Beurteilung der Konditionierung. An einem Modellschalter werden hierzu optische Untersuchungen des Konditionierungslichtbogens durchgeführt. Die Kontaktstückoberflächen werden elektronenmikroskopisch und rasterkraftmikroskopisch untersucht.

Hochfrequenzkonditionierung

Mit der HF-Konditionierung werden auf den Oberflächen der Kontaktstücke mit Hilfe eines Lichtbogens Emissionszentren beseitigt, welche die Spannungsfestigkeit der Vakuumschaltkammer herabsetzen. Es werden hierbei Ströme mit Amplituden bis

etwa 10 kA eingesetzt, die für einen Zeitraum von einigen 100 μs bis zu wenigen Millisekunden fließen. Der Kontaktabstand der Vakuumschaltkammern beträgt bei der HF-Konditionierung 5 mm. Es wird ein Versuchsaufbau zur HF-Konditionierung, bestehend aus zwei Schwingkreisen, aufgebaut, dessen Resonanzströme durch die Vakuumschaltkammer geleitet werden (Abb. 1). Die Frequenz des Hauptschwingkreises beträgt je nach Konfiguration 6,2 kHz oder 7,1 kHz, die des Parallelschwingkreises 75 kHz oder 100 kHz.

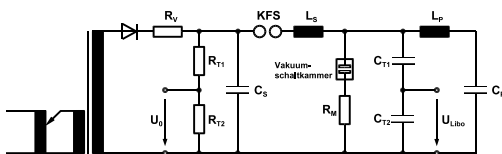


Abb. 1: Versuchsaufbau zur Hochfrequenzkonditionierung

Die Dauer einer einzelnen HF-Konditionierung ist dadurch bestimmt, dass die Vakuumschaltkammer die Restspannung des Kondensators des Hauptschwingkreises isoliert, sobald diese die erreichte Spannungsfestigkeit der Vakuumschaltkammer unterschreitet. Die Konditionierungsdauer einer einzelnen HF-Konditionierung beträgt, stark abhängig von der Konfiguration der HF-Konditionierung, etwa 200 μs bis zu 3 ms. Einen typischen Strom- und Spannungsverlauf zeigt Abbildung 2.

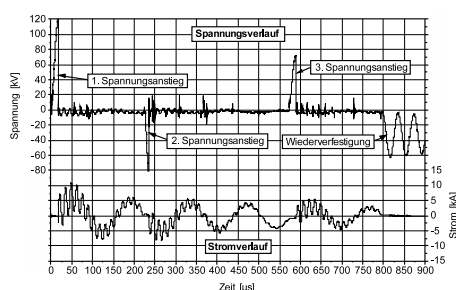


Abb. 2: Typischer Strom- und Spannungsverlauf während einer Hochfrequenzkonditionierung

Das wesentliche Funktionsprinzip der HF-Konditionierung ist das bei genügend hohen Stromsteilheiten vor dem Stromnulldurchgang erzwungene Wiederzünden des Metaldampflichtbogens einer Vakuumschaltstrecke. Durch das Verlöschen des Lichtbogens in einem Stromnulldurchgang mit anschließender Wiederzündung wird eine Neuzündung an einer anderen Stelle auf der Kontaktstückoberfläche ermöglicht. Damit können kritische Emissionszentren sukzessive beseitigt werden.

Spannungsfestigkeitssteigerung der Vakuumschaltstrecke

Die HF-Konditionierung wird an einer einzelnen Vakuumschaltkammer jeweils mehrfach durchgeführt, um eine entsprechende Steigerung der Spannungsfestigkeit zu erzielen. Bestimmt wird nach einer HF-Konditionierung bei einem Kontaktabstand von 8 mm der sogenannte „basic insulation level“, BIL, der mit einem definierten Verfahren ermittelt wird [1]. Nach IEC 62271-100 wird für die geöffnete Schaltstrecke einer Vakuumschaltkammer für eine Bemessungsspannung von 24 kV eine Bemessungsstehblitzstoßspannung von 125 kV gefordert, für eine Bemessungsspannung von 36 kV eine Bemessungsstehblitzstoßspannung von 170 kV. Abbildung 3 zeigt die mit einer Konfiguration erreichten BIL.

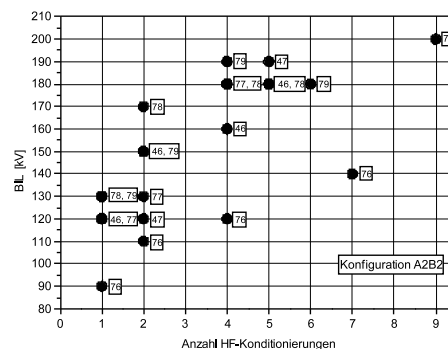


Abb. 3: Mit der HF-Konditionierung erreichter BIL (Konfiguration A2B2)

Mit der HF-Konditionierung wird ein BIL von 125 kV zuverlässig erreicht, in Einzelfällen werden BIL bis 200 kV erreicht. Mit einer optimierten Konfiguration wird in der Regel nach vier bis fünf HF-Konditionierungen ein BIL von 160 kV erreicht.

Zur direkten Bewertung der mit einer einzelnen HF-Konditionierung erzielten Spannungsfestigkeit werden verschiedene Kriterien untersucht, die aus den aufgenommenen Strom- und Spannungsverläufen abgeleitet werden. Es werden z.B. Ladungsumsatz, Häufigkeit der Wiederzündungen oder Konditionierungsdauer betrachtet. Als sehr aussagekräftiges Kriterium bei einer mehrfachen HF-Konditionierung erweist sich die Konditionierungsdauer in Kombination mit der ersten Spannungsamplitude, die ein Indiz für die bereits vorliegende Spannungsfestigkeit darstellt. Eine kurze Konditionierungsdauer resultiert in einer hohen Restspannung der Ladekapazität, woraus ein entsprechend hoher BIL gefolgert werden kann. In Abbildung 4 ist dieses kombinierte Kriterium für eine Konfiguration dargestellt.

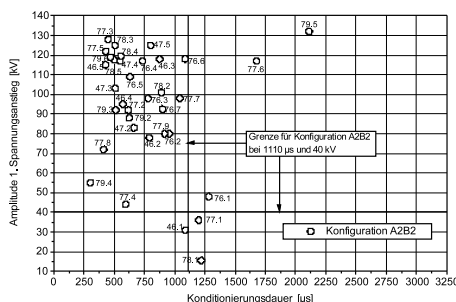


Abb. 4: Konditionierungsdauer und erste Spannungsamplitude als Bewertungskriterium (Konfiguration A2B2)

Es kann ein Bereich mit einer maximalen Konditionierungsdauer und einer minimalen ersten Spannungsamplitude identifiziert werden, für den mit einem BIL von mehr als 125 kV gerechnet werden kann.

Optische Untersuchungen des Konditionierungslichtbogens und mikroskopische Untersuchungen der Kontaktstückoberflächen

Die räumliche Verteilung der während einer HF-Konditionierung auftretenden Konditionierungslichtbögen werden mit einer CCD-Kamera an einem Modellschalter untersucht. Sie belegen, dass innerhalb einer einzelnen HF-Konditionierung eine Verlagerung der Konditionierungslichtbögen stattfindet, so dass die gesamte Kontaktstückoberfläche erreicht werden kann. Abbildung 5 zeigt eine integrale Aufnahme der während einer HF-Konditionierung aufgetretenen Lichtbögen, die tatsächlich zeitlich versetzt auftreten.

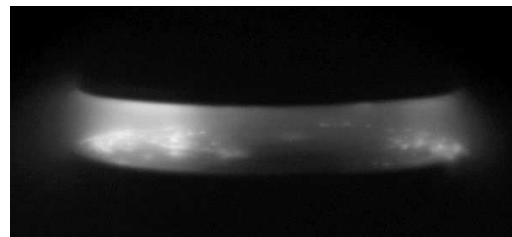


Abb. 5: Konditionierungslichtbogen während einer Hochfrequenzkonditionierung

Die Auswirkungen der Konditionierungslichtbögen auf die Kontaktstückoberflächen werden elektronenmikroskopisch und rasterkraftmikroskopisch untersucht. In Übereinstimmung mit den optischen Aufnahmen sind großflächige Aufschmelzungen der Kontaktstückoberflächen festzustellen. Durch das Aufschmelzen wird die Rautiefe gegenüber den nicht konditionierten Kontaktstücken zwar erhöht, gleichzeitig werden aber scharfkantige Konturen beseitigt. Da diese Konturen die maximale lokale Feldstärke und damit die Spannungsfestigkeit der Vakuumschaltstrecke maßgeblich bestimmen, wird durch ihre Beseitigung die Spannungsfestigkeit erhöht. Abbildung 6 zeigt einen Ausschnitt der Kontaktstückoberfläche nach einer HF-Konditionierung.

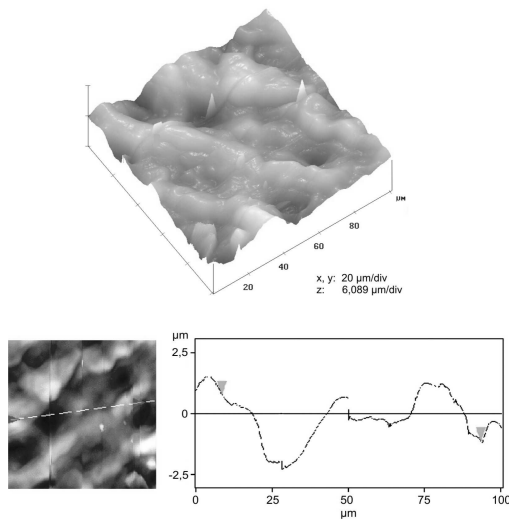


Abb. 6: Rasterkraftmikroskopische Aufnahme der Kontaktstückoberfläche nach einer HF-Konditionierung

Funktion des Parallelkreises

Die Funktion der HF-Konditionierung ist wesentlich durch den Parallelschwingkreis bestimmt. Durch die Stromüberlagerung treten zahlreiche Stromnulldurchgänge auf, in denen ein Verlöschen des Lichtbogens mit anschließender Wiederzündung möglich ist. Durch die Stromüberlagerung kann die Stromsteilheit vor einem Stromnulldurchgang wesentlich reduziert werden. Unterhalb von etwa $100 \text{ A}/\mu\text{s}$ steigt die Spannungsamplitude, die nach erfolgter Stromunterbrechung bis zur Wiederzündung erreicht wird, stark an. Um nach einer Stromunterbrechung eine Neuzündung an einer anderen Stelle auf der Kontaktstückoberfläche zu ermöglichen, ist eine ausreichende Zeitspanne zwischen Stromunterbrechung und nachfolgendem Spannungszusammenbruch erforderlich, da die Kaltspannungsfestigkeit der Vakuumschaltstrecke erst nach mehreren Mikrosekunden erreicht wird. Durch die Kapazität des Parallelkreises wird die Spannungssteilheit nach einer Stromunterbrechung auf $6,5 \text{ bis } 10 \text{ kV}/\mu\text{s}$ begrenzt, wodurch eine

Zeitspanne zwischen Stromunterbrechung und nachfolgendem Spannungszusammenbruch von bis zu 25 Mikrosekunden erreicht wird. Die Induktivität des Parallelschwingkreises begrenzt die maximal auftretende Stromamplitude auf etwa 8 bis 10 kA. Wiederzündungen mit einer signifikanten vorherigen Spannungsamplitude von einigen 10 kV treten nur im Bereich des Stromnulldurchgangs des Hauptschwingkreises auf. Zwischen der Anzahl der auftretenden Wiederzündungen und dem erreichten BIL besteht keine Relation. Eine hohe Anzahl an Wiederzündungen ist demnach nicht entscheidend für eine effektive Konditionierung. Vielmehr ist das Auftreten von einigen Wiederzündungen während einer HF-Konditionierung ausreichend.

Prinzipiell eignet sich die HF-Konditionierung für den industriellen Einsatz. Die für Vakuumschaltkammern mit einer Bemessungsspannung von 24 kV geforderte Bemessungsstehblitzstoßspannung von 125 kV wird mit einer mehrfachen HF-Konditionierung zuverlässig erreicht. Auch deutlich höhere BIL, in Einzelfällen bis 200 kV, werden erreicht, die zunehmende Streuung erschwert hierbei aber die systematische Anwendung.

Quellen

- [1] B. Heil, Untersuchungen zur Hochfrequenzkonditionierung von Vakuumschaltkammern, Institut für Hochspannungstechnik, RWTH Aachen, Dissertation, 2006

Kontakt

Dr.-Ing. Bernhard Heil
heil@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94950

Untersuchungen zur Beeinflussung des durch Störlichtbögen verursachten Überdrucks in elektrischen Anlagen

Dissertation: Dr.-Ing. Michael Schmale

Tag der mündlichen Prüfung: 10. November 2006

Berichter: Univ.-Prof. Dr. rer. nat. G. J. Pietsch

Univ.-Prof. Dr.-Ing. H. Böhme

Univ.-Prof. Dr.-Ing. A. Schnettler

Das Auftreten von Störlichtbögen in elektrischen Anlagen ist zwar selten, es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden. Ursachen für die Entstehung von Fehlerlichtbögen können Isolationsversagen, Überspannungen und Fehlbedienungen des Personals sein. In Folge eines Störlichtbogens werden die fehlerbehafteten Schaltzellen und ggf. das Anlagengebäude thermisch und mechanisch belastet. Das Isoliergas wird durch den Lichtbogen erhitzt und es entsteht ein Überdruck. Metallgekapselte Schaltanlagen können zwar mehreren hundert mbar Überdruck widerstehen, Anlagengebäude erleiden aber je nach Beschaffenheit bereits ab 3 mbar Schäden. Die vorliegende Arbeit soll als Hilfe für die Auslegung von Einrichtungen zur Überdruckreduktion in elektrischen Anlagen im Störlichtbogenfall und zum grundlegenden Verständnis der Vorgänge, die bei einer Überdruckentwicklung in Anlagenräumen stattfinden, dienen.

82

Ziele der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist die Erarbeitung von Grundlagen zur Reduktion der Überdruckbelastung. Untersucht werden die Wirkung von

- Druckentlastungsöffnungen,
- Zwischenräumen und Kanälen,
- Lichtbogenenergieabsorbern.

Gekapselte (gasisolierte) Schaltanlagen sind über Druckentlastungseinrichtungen mit dem Anlagengebäude verbunden. Nach Zündung des Lichtbogens steigt zuerst der Überdruck im Lichtbogenraum, die Entlastungseinrichtungen öffnen sich, und der Überdruck steigt auch im Anlagengebäude. Die Höhe des Überdruckes ist maßgeblich von der Fehlerdauer und der eingespeisten Leistung abhängig, welche in Mittelspannungsanlagen einige 10 MW betragen kann.

Der Überdruckabbau im Schaltanlagenraum kann z. B. über ausreichend dimensionierte Druckentlastungsöffnungen erfolgen. Eine weitere Möglichkeit den Überdruck im Schaltanlagenraum zu beeinflussen ist durch die Verwendung von Zwischenräumen als Puffer und Druckentlastungskanälen gegeben, welche auf den Schaltanlagen montiert werden und die Heißgase ableiten. Lichtbogenenergieabsorber sind Kühlgitter, die der durch den Lichtbogen entstandenen Heißgaswolke Energie entziehen und hierdurch ebenfalls einen Überdruckabbau bewirken. Der Überdruckverlauf im Störlichtbogenfall wird mit Hilfe eines im Hause entwickelten Programms und eines kommerziellen Computational Fluid Dynamics (CFD) Softwarepakets ermittelt. Ersteres liefert raummittelnde Ergebnisse, zweiteres orts aufgelöste Überdruckverläufe. Um die Wirkung von Lichtbogenenergieabsorbern

zu quantifizieren, werden darüber hinaus Experimente mit einer Hochstromversuchsanlage durchgeführt.

Druckentlastungsöffnungen

Die einfachste Methode den durch Störlichtbögen auftretenden Überdruck in elektrischen Anlagen zu reduzieren, ist die Installation von Druckentlastungsöffnungen. Zur Bestimmung der Überdrücke wird ein auf dem erweiterten Standardverfahren basierendes Softwarepaket verwendet, das es gestattet, mittlere Druckverläufe zeitlich aufgelöst in bis zu drei verbundenen Räumen zu ermitteln. Generell wird hier die Überdruckentwicklung in Anordnungen betrachtet, wie sie in Abb. 1 exemplarisch dargestellt sind.

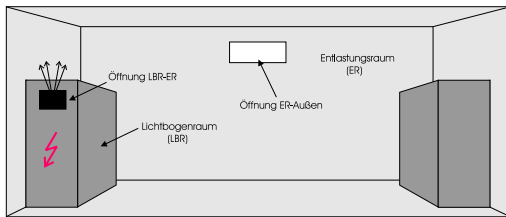


Abb. 1: Beispielhafte Anordnung mit fehlerbehaftetem "Lichtbogenraum" (LBR), Öffnung LBR-ER und Entlastungsraum (ER) mit einer Öffnung ER-Außen ins Freie

Im "Lichtbogenraum" (LBR) tritt der Fehler auf, die entstehenden Heißgase entweichen über die Öffnung LBR-ER in den Entlastungsraum, in dem der Überdruck über eine Öffnung nach Außen abgebaut wird. Die Überdruckentwicklung im ER hängt maßgeblich von der Größe der Öffnung ins Freie ab (Abb. 2). Je größer die Öffnung, desto geringer der sich aufbauende Überdruck. Ferner ist eine deutliche Abhängigkeit des Überdrucks im ER von der Größe des Entlastungsraumes zu erkennen: Bei kleinen Entlastungsräumen sind kleine Öffnungen ER-Außen effektiver (größere relative Überdruckabsenkung) als bei größeren ER. Bei größeren Entlastungsöffnungen

ist der Einfluss der Volumengröße geringer (Abb. 3).

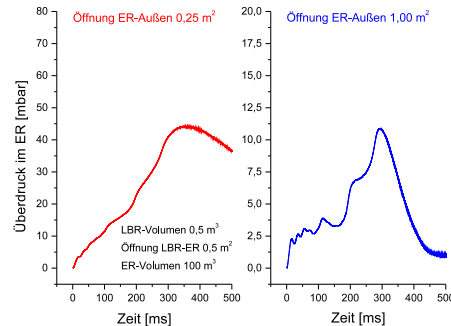


Abb. 2: Überdruckentwicklung im ER bei unterschiedlichen Größen der Öffnung ER-Außen (LBR-Volumen 0,5 m³, ER-Volumen 100 m³, Öffnung LBR-ER 0,5 m²)

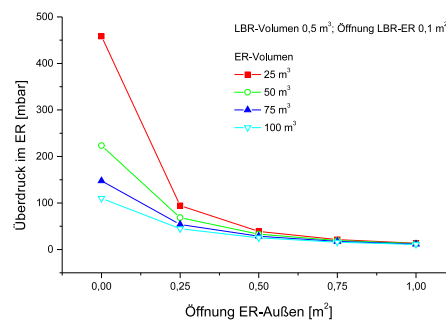


Abb. 3: Maximaler Überdruck im ER bei einem LBR-Volumen von 0,5 m³ und einer Öffnung LBR-ER von 0,1 m² in Abhängigkeit von der Größe der Entlastungsöffnung ER-Außen bei verschiedenen ER-Volumina

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Druckentlastungsöffnungen so angepasst werden können, dass der maximal auftretende Überdruck minimiert werden kann.

Zwischenräume und Kanäle

Druckentlastungskanäle können auf Schaltanlagen montiert werden, um die bei einem Störlichtbogen auftretenden Heißgase z. B. ins Freie abzuleiten; eine Kontamination des Aufstellungsraums der Schaltanlage wird vermieden.

Durch die Verwendung von Druckentlastungskanälen, die ins Freie führen, erfährt der Aufstellungsraum der fehlerbehafteten Schaltanlage keine vom Störlichtbogen ausgehende thermische und mechanische Belastung. Die Heißgase entweichen über die Druckentlastungsöffnung der Schaltzelle und den Kanal ins Freie.

Kanäle können auch die Funktion von Zwischenräumen übernehmen. Sie stellen ein Puffervolumen dar, d.h. sie nehmen zunächst die Überdruckspitze auf und geben sie über eine Öffnung zeitlich verzögert an den eigentlichen Entlastungsraum weiter. Die dort installierte Druckentlastungseinrichtung ist in diesem Fall besonders wirksam, weil bereits während des Druckaufbaus eine Entlastung stattfindet. Für die Untersuchungen werden sowohl der LBR als auch der ER als quaderförmig angenommen. Sie sind über einen Druckentlastungskanal verbunden (Abb. 4).

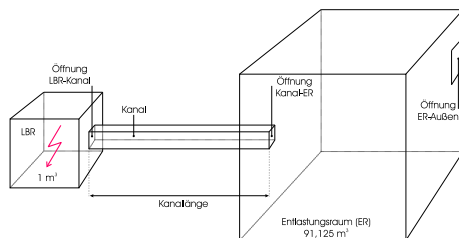


Abb. 4: Untersuchte Anordnung mit Lichtbogenraum, Kanal und Entlastungsraum

Zur Ermittlung des Einflusses der Kanallänge (Kanalvolumen) auf die Überdruckentwicklung im Lichtbogenraum werden vier Kanäle mit unterschiedlicher Länge (1,5, 3, 6 und 9 m) zwischen Lichtbogen- und Entlastungsraum betrachtet. Der Überdruckverlauf im ER wird an der dem Kanal gegenüberliegenden Wand bestimmt. Die Überdruckspitzenbelastung im ER steigt mit Zunahme der Kanallänge (Abb. 5). Je länger der Kanal, desto verzögerter steigt der Druck an. Im Vergleich zum Fall ohne Kanal erfolgt die Belastung über einen kürzeren Zeitraum. Der Entlastungsraum wird wegen der Pufferwirkung des Kanals bis

zu einer Länge von 3 m bei einem Kanalquerschnitt von $0,08 \text{ m}^2$ mit einer geringeren Überdruckspitze belastet. Bei einer Länge von 0 m (ohne Kanal) kann sich der Überdruck direkt in dem Entlastungsraum aufbauen. Die Wirkung der Entlastungsöffnung ins Freie ist geringer. Ab einer Kanallänge von 6 und 9 m übersteigt die Wandbelastung diejenige, die ohne Kanal gegeben ist. Die Pufferwirkung bringt keine Vorteile.

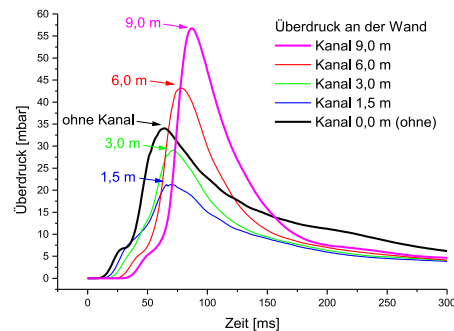


Abb. 5: Überdruckverlauf im ER an der dem Kanal gegenüber liegenden Wand bei einer Kanallänge von 1,5, 3, 6 und 9 m (Öffnung ER-Außen $1,215 \text{ m}^2$)

Um Zwischenräume zur Druckentlastung von Aufstellungsräumen zu verwenden, müssen Querschnitte und Volumina optimiert werden.

Störlichtbogenenergieabsorber

Durch Entzug von Energie aus der bei einem Fehler entstehenden Heißgaswolke ist eine Reduktion der Überdruckspitzenbelastung im Aufstellungsraum von Schaltanlagen möglich [1]. Zu diesem Zweck können z. B. Störlichtbogenenergieabsorber verwendet werden. Störlichtbogenabsorber sind Kühlgitter und bestehen i. A. aus Streckmetall. Es sind passive Elemente, die keiner Wartung bedürfen. Die Heißgase müssen so gelenkt werden, dass sie durch die Absorberanordnung strömen.

Durch Wärmeleitung zwischen Heißgas und Metall wird dem Heißgas Energie entzogen, darüber hinaus können Lichtbogenenergieabsorber auch das Austreten von

Flammen aus der fehlerbehafteten Schaltzelle begrenzen. Der Einsatz von Lichtbogenenergieabsorbern wird in einem Versuchsgefäß untersucht, welches aus einem Vierflansch (70,9 l Volumen) und angeschlossenem Rohr besteht (147,1 l Volumen). Im Rohr befindet sich ein Kanal zur Aufnahme von Kühlgittern. Der Lichtbogen wird im Vierflansch gezündet (Abb. 6).

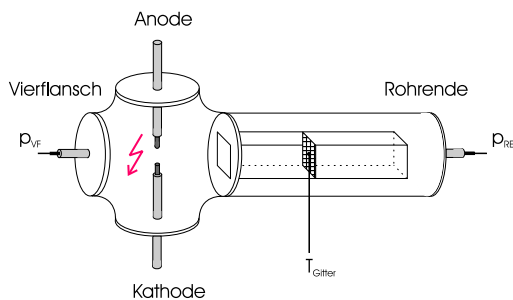


Abb. 6: Skizze des Versuchsgefäßes bestehend aus einem Vierflansch und einem angeschlossenen Rohr mit eingebautem Kanal und Positionen der Druck- und Temperatursensoren

Der Einsatz von Lichtbogenabsorbern bewirkt eine Reduzierung des Überdrucks am Rohrende (Abb. 7).

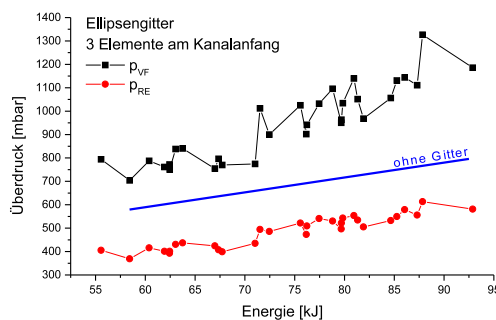


Abb. 7: Maximale Überdruckwerte des Versuchsgefäßes im Vierflansch (VF) und am Rohrende (RE) in Abhängigkeit von der Lichtbogenenergie bei Versuchen mit drei Lichtbogenabsorberelementen des Ellipsentyps am Kanalanfang

Die effektive Druckminderung alleine auf Grund des Energieentzugs durch das Kühlgitter kann über die Temperaturzunahme des Gittermaterials nachgewiesen werden. Auf Grund der Abkühlung des Heißgases

im Kanal hat der Einbauort eine deutliche Auswirkung auf die Zunahme der Gittertemperatur: Bei einem lichtbogen nahen Einsatz ist die vom Absorber aufgenommene Energie und demzufolge die Überdruckreduktion größer.

Zusammenfassung

Die durch Störlichtbögen verursachte Überdruckbelastung der Aufstellungsräume von elektrischen Anlagen kann mit den drei untersuchten Maßnahmen (Druckentlastungsöffnungen, Zwischenräume und Kanäle, Störlichtbogenenergieabsorber) erheblich reduziert werden. Die abgestimmte Kombination von Druckentlastungsöffnungen und Zwischenräumen ist eine wirksame Methode um die Überdruckspitzenbelastung von Aufstellungsräumen zu begrenzen. Der Einsatz von Störlichtbogenenergieabsorbern verursacht zwar eine höhere Druckbelastung des Fehlerraums, der Aufstellungsraum wird aber entlastet. Der Energieentzug durch Kühlgitter aus dem durch Störlichtbögen entstehenden Heißgas senkt die Gastemperatur und in Folge dessen auch den resultierenden Überdruck.

Quellen

- [1] M. Schmale, G.J. Pietsch, *On arc energy absorption by cooling devices in electrical installations*, XVI International Conference on Gas Discharges and their Applications, Xi'an (China), September 11-15, S. 61 - 64

Kontakt

Dr.-Ing. Michael Schmale
Michael.Schmale@eon-energie.com

Univ.-Prof. Dr. rer. nat. G. J. Pietsch
Pietsch@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94943

Detektion und Evaluation von Inhomogenitäten im Volumen und an inneren Grenzflächen in polymeren Isoliersystemen mittels Ultraschall

Dissertation: Dr.-Ing. Philipp Walter

Tag der mündlichen Prüfung: 11. Dezember 2006

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

Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Michael Vorländer

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Untersuchung der Ultraschall Diagnostik zur Zustandsbewertung von polymeren Isoliersystemen [1]. Es werden als Schädigungsformen singuläre Fehlstellen im Isoliervolumen sowie Inhomogenitäten an inneren Grenzflächen betrachtet, welche ein relevantes Schädigungspotenzial hinsichtlich der Isolationsfähigkeit aufweisen. Die Detektion solcher Inhomogenitäten und die Evaluation von den das Schädigungspotenzial bestimmenden Parametern, wie die Bestimmung der Größe eines Fremdstoffeinschlusses und die Ermittlung einer Delamination an einer inneren Grenzfläche, sind in polymeren Isoliersystemen in der Vergangenheit mittels Ultraschall nicht ausreichend untersucht worden. In dieser Arbeit werden Verfahren, welche die vorliegende Prüfaufgabe und die sich ableitenden Randbedingungen berücksichtigen, für die Detektion und Evaluation der beschriebenen Fehlstellen vorgestellt. Die Analyse der Leistungsfähigkeit der bereitgestellten Verfahren zeigt, dass eine Vielzahl von relevanten Einflüssen auf das Schädigungspotenzial einer Inhomogenität untersucht und bewertet werden kann.

Ziele der Arbeit

Ein wesentliches Ziel der Arbeit ist es, die Leistungsfähigkeit der Ultraschalltechnik hinsichtlich der relevanten Einflüsse auf das Schädigungspotenzial einer Inhomogenität in polymeren Isoliersystemen zu untersuchen und zu bewerten sowie Verfahren für die Detektion und Evaluation der Inhomogenitäten bereitzustellen. Um die industrielle Einsetzbarkeit zu gewährleisten, sollen die zu entwickelnden Prüfmethoden automatisierbar sein. Ferner sollen die Prüfmethoden hinsichtlich der Abhängigkeit von Parametern analysiert werden.

Im Rahmen der Fehlstellendiagnostik kommt neben der Detektion der Evaluation eine besondere Rolle zu. Aus diesem Grund ist zu untersuchen, mit welchen Methoden eine Fehlstellenevaluation möglich ist,

die im Ergebnis solche Eigenschaften einer Fehlstelle liefern sollte, die einen Einfluss auf das Schädigungspotenzial aufweisen. Somit sollen Mess- und Auswertungsmethoden bereitgestellt werden, welche eine Bewertung der detektierten Inhomogenitäten hinsichtlich Größe, Geometrie, Orientierung und Material ermöglichen.

Neben singulären Inhomogenitäten können auch Inhomogenitäten an Grenzflächen eine Schädigungsform in Isoliersystemen darstellen. Es soll untersucht werden, inwieweit die Ultraschall Diagnostik zur Zustandsbewertung von Grenzflächen in polymeren Isoliersystemen eingesetzt werden kann. Hierbei steht neben der Diagnostik von Fehlstellen an der Grenzfläche die Untersuchung von Ablösungen des Materialverbunds im Vordergrund.

Diagnostik von singulären Fehlstellen

Hinsichtlich der Diagnostik von singulären Inhomogenitäten wird die Detektierbarkeit von faserförmigen Fehlstellen untersucht, mit dem Ergebnis, dass eine Faser mit einem Durchmesser von $16\ \mu\text{m}$ in Silikon bis zu einer Tiefenlage von $25\ \text{mm}$ detektierbar ist. Ferner wird das Auflösungsvermögen des Messsystems mittels der Landoltring-Methode untersucht. Es wird gezeigt, dass das Auflösungsvermögen eine Abhängigkeit von der Tiefenlage und dem Material aufweist und für Silikonelastomer und Epoxidharz im Bereich von $0,8\ \text{mm}$ bis $1,5\ \text{mm}$ liegt. Dies ist der minimale laterale Abstand, den Fehlerstrukturen aufweisen müssen, um noch aufgelöst werden zu können.

Für eine Evaluation von detektierten singulären Fehlstellen hinsichtlich des Materials wird gezeigt, dass über die Auswertung der Phasenlage der Echosignale gasförmige Fehlstellen in Silikon erkennbar sind. Feststoffeinschlüsse können jedoch mittels Ultraschall nicht hinsichtlich des Materials bewertet werden. Somit besteht nicht die Möglichkeit, eine Aussage über die elektrische Leitfähigkeit des Fremdstoffs zu treffen, welche jedoch eine wesentliche Relevanz für die Beurteilung des Schädigungspotenzials darstellt.

Für die Bewertung der Größe einer detektierten Fehlstelle ist die Vergleichskörpermethode geeignet. Es werden Vergleichskörper aus Silikonelastomer hergestellt, welche definierte kugelförmige und kreisscheibenförmige Musterfehlstellen als Ersatzreflektoren in verschiedenen Tiefenlagen beinhalten. Weil Lufteinschlüsse in Silikon in ihrer Form zumeist einer Kugel ähneln, kann über die Angabe der kugelförmigen Ersatzreflektorgröße eine Aussage über die voraussichtlich zu erwartende Fehlergröße getroffen werden. Die Ermittlung der kreisscheibenförmigen Ersatzreflektorgröße erlaubt auf Grund der Eigenschaft des idealen Reflek-

tors die Angabe der minimalen Fehlergröße. Mit der Vergleichskörpermethode werden Fehlstellen unabhängig von der Tiefenlage bewertet, deren Größe im Bereich von $0,2\ \text{mm}$ bis $3\ \text{mm}$ liegen (Abb. 1).

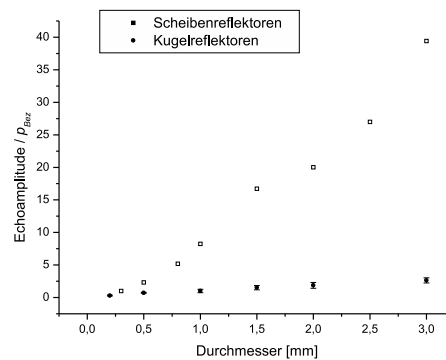


Abb. 1: Größenbestimmung mittels der Vergleichskörpermethode

In der elektrischen Energietechnik werden eine Vielzahl von unterschiedlichen Silikonelastomeren verwendet. Es wird deswegen die Thematik untersucht, ob die in einem Silikonelastomer gewonnenen Ergebnisse auf andere Silikonelastomere übertragbar sind. Untersuchungen zur Schallschwächung verschiedener Materialien zeigen signifikante Unterschiede zwischen Silikonelastomeren, so dass für ein zu untersuchendes Material entsprechende Vergleichskörper hergestellt und vermessen werden sollten.

Ferner wird untersucht, ob eine Temperaturabhängigkeit bei der Größenbestimmung mittels der Vergleichskörpermethode vorliegt. Im Ergebnis hat die Temperatur keinen signifikanten Einfluss auf die Schallschwächung und somit auf die Echoamplitude, allerdings liegt eine Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit vor, welche zu $-2,3\ \text{m/s}$ pro Grad Temperaturerhöhung ermittelt wird. Eine Veränderung der Schallgeschwindigkeit führt zu einer fehlerhaften Bestimmung der Tiefenlage, wodurch der Einfluss der Schallschwächung nicht korrekt ermittelt werden kann. Dies führt im Resultat zu einer feh-

lerhaften Größenbestimmung. Es wird vorgeschlagen, entweder die Prüfobjekte nur bei Raumtemperatur zu untersuchen oder die Temperatur während der Ultraschallmessung zu bestimmen und die Schallgeschwindigkeit dementsprechend anzupassen.

Eine Aussage über die Geometrie und Orientierung einer Fehlstelle kann durch die Anwendung eines Winkelpföhrverfahrens erreicht werden. Als Bewertungsverfahren wird die Dynamik der Reflektivität über dem Einschallwinkel vorgestellt. Hierbei müssen zunächst Grenzflächeneffekte, wie die Abhängigkeit der Echodurchlässigkeit vom Einschallwinkel oder die Brechung an der Oberfläche des Elastomers, berücksichtigt werden. Es wird gezeigt, dass eine Unterscheidung zwischen flächigen und kugelförmigen Inhomogenitäten unter Angabe der Vorzugsrichtung möglich ist (Abb. 2). Eine Unterscheidung zwischen einer ellipsoidförmigen und kugelförmigen Geometrie ist in Silikonelastomeren jedoch mittels dieses Verfahrens nicht möglich.

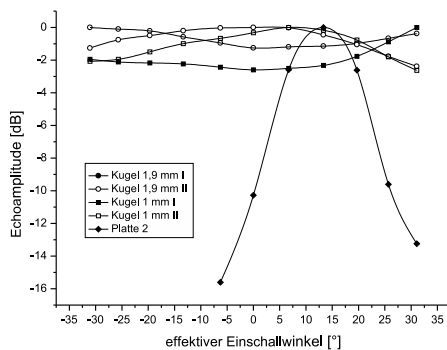


Abb. 2: Vergleich flächiger mit kugelförmigen Reflektoren

Diagnostik von Inhomogenitäten an Grenzflächen

Hinsichtlich der Diagnostik von inneren Grenzflächen wird ein automatisiertes Verfahren entwickelt, welches Delaminationen detektiert. Das Verfahren basiert auf

einem normierten Korrelationsalgorithmus und wertet den an einer Delamination entstehenden Phasensprung durch Ermittlung des Ähnlichkeitsmaßes zwischen Echosignalen aus. Das Verfahren hat die Vorteile, dass es auf Grund der Eigenschaften der Korrelationsfunktion unabhängig von der Echoamplitude ist und die Genauigkeit der Ausrichtung des Betriebsmittels zum Prüfkopf keinen nennenswerten Einfluss auf die Detektion aufweist. Als Ergebnis liefert das Verfahren eine farbskalierte Korrelationskarte (*K-Bild*) der untersuchten Grenzfläche (Abb. 3).

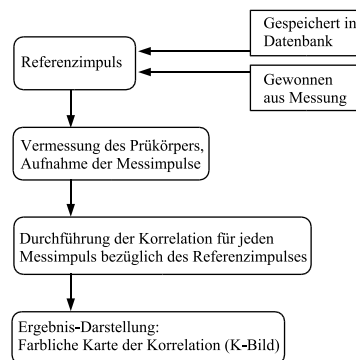


Abb. 3: Ablaufdiagramm des Korrelations-Verfahrens

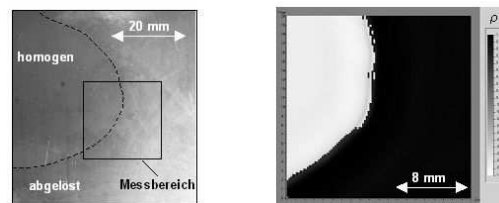


Abb. 4: Prüfkörper mit partieller Ablösung an der Grenzfläche Epoxidharz-Metall (li) und zugehöriges K-Bild (re)

Mittels des Verfahrens können Delaminationen an den Grenzflächen Silikon-Metall, Silikon-Epoxidharz und Epoxidharz-Metall detektiert werden (Abb. 4). Voraussetzung für eine Detektion ist jedoch, dass sich eine Gasschicht an der Grenzfläche befindet, so dass ein Phasensprung auftreten kann. Weil Silikonelastomere jedoch auch unter einer Vorspannung auf dem Trägermate-

rial aufgebracht sein können, besteht die Möglichkeit, dass die Luft durch das Silikon herausgepresst wird, so dass die Einsetzbarkeit des Verfahrens in diesen Fällen eingeschränkt ist.

Es werden Einflussparameter auf die Anwendbarkeit des Verfahrens analysiert. Bei der Untersuchung von Betriebsmitteln mit einer inkonstanten Schichtdicke über der Grenzfläche zeigt sich, dass die aus der frequenzabhängigen Dämpfung resultierende Impulsverformung berücksichtigt werden muss, damit Delaminationen fehlerfrei detektierbar sind. Für die Berücksichtigung wird in einer ausreichenden ersten Näherung die Verschiebung der Mittenfrequenz der Schallimpulse verwendet.

Mittels Ultraschall können nicht nur Delaminationen an einer Grenzfläche, sondern auch angrenzende singuläre Inhomogenitäten detektiert werden. Untersuchungen zeigen, dass mit einem amplitudenbasierten automatisierbaren Verfahren durch Ausblendung der Grenzflächensignale kugelförmige Fehlstellen an Grenzflächen ab einem Durchmesser von $0,3 \text{ mm}$ detektierbar sind. Bei kleineren Durchmessern werden die Fehlstellensignale von dem Grenzflächensignal verdeckt (Abb. 5).

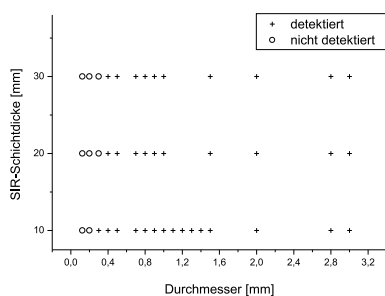


Abb. 5: Detektierbarkeit von kugelförmigen Fehlstellen an einer Grenzfläche in Silikon

Bei dem amplitudenbasierten Verfahren liegt eine starke Abhängigkeit von der Genauigkeit der Ausrichtung zwischen Prüfkopf und Grenzfläche vor, wodurch die Automatisierbarkeit und Fehlererkennbar-

keit eingeschränkt ist. Um diesen Nachteil zu vermeiden, wird untersucht, ob eine Detektion auch mittels des entwickelten Korrelationsverfahrens durch Auswertung der Differenz $\Delta\rho = \rho_{\text{Hintergrund}} - \rho_{\text{Messpunkt}}$ möglich ist. Es zeigt sich, dass das Korrelationsverfahren zur Detektion von Fehlstellen an Grenzflächen geeignet ist, wobei das Auflösungsvermögen geringfügig niedriger ist als bei dem amplitudenbasierten Verfahren (Abb. 6). Vorteilhaft ist allerdings, dass aus dem genannten Grund eine Automatisierung mit einem geringeren Aufwand durchführbar ist.

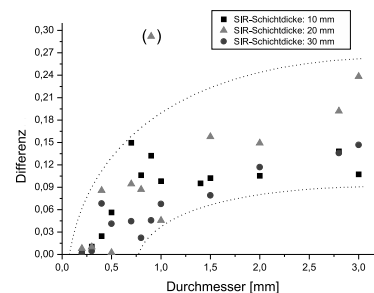


Abb. 6: Detektierbarkeit der Anordnung nach Abb. 5 mittels des Korrelationsverfahrens

Quellen

- [1] P. Walter, *Detektion und Evaluierung von Inhomogenitäten im Volumen und an inneren Grenzflächen in polymeren Isoliersystemen mittels Ultraschall*, Institut für Hochspannungstechnik, RWTH Aachen, Dissertation, 2006

Kontakt

Dr.-Ing. Philipp Walter
PhWalter@gmx.de

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

Diplom-, Master- und Studienarbeiten

Diplomarbeiten

Behm, Mathias

Ökoeffizienzbewertung dezentraler Energiewandlungstechniken im Vergleich mit Großkraftwerken im Netzbetrieb

Die Bewertung möglicher Entwicklungspotentiale von dezentralen Energiewandlungseinheiten nach technischen, ökonomischen sowie ökologischen Gesichtspunkten ist Hauptbestandteil dieser Arbeit. Ausgehend von diesem Untersuchungsziel wird untersucht, inwiefern sich verschiedene Dezentralisierungsgrade bei unterschiedlichen Netzstrukturen sowie bei verschiedenen Energieszenarien auf die Ökoeffizienz des Netzbetriebs auswirken.

Bujotzek, Markus

Experimentelle und theoretische Untersuchung der Heißgasabkühlung im Auspuff von SF₆-Selbstblasleistungsschaltern

Während des Ausschaltvorgangs wird im Lichtbogenraum eines Selbstblasleistungsschalters eine Heißgasströmung generiert, die in das Auspuffvolumen des Schalters geleitet wird. Anhand eines Referenzexperiments wird die Abkühlung des Heißgases im Auspuffrohr experimentell und theoretisch untersucht. Der Einsatz von CFD-Simulationen ermöglicht eine Energiebilanzierung des gesamten Aufbaus. Schwerpunkt dabei ist die Bestimmung der Energieanteile, die für den Druckaufbau bzw. für die Aufheizung des Rohres vKirstin Siefenwendet werden.

Faber, Marco

Analyse der Übertragungsfähigkeit von elektrotechnischen Komponenten und Betriebsmitteln in elektrischen Versorgungsnetzen

Einen entscheidenden Anteil an der zukünftigen Stromerzeugung in Deutschland wird der Windenergie in der deutschen Nord- und Ostsee zugerechnet. Die installierte Leistung an Windkraftanlagen in Deutschland stieg zwischen 1990 und 2006 von 68 MW auf ca. 20 GW an. Diese Zunahme der Windenergieeinspeisung in das deutsche Übertragungsnetz erfordert eine stärkere Ausnutzung von Übertragungsreserven der Betriebsmittel und Teilsysteme. Gesichtspunkte der Übertragungskapazität der Betriebsmittel und Teilsysteme unter Berücksichtigung der Netzintegration von Offshore Windparks werden analysiert und bewertet.

Fan, Zhenhua

Untersuchung zum Alterungsverhalten von modifizierten superhydrophoben Isolieroberflächen

Das Fremdschichtverhalten eines Isoliersystems wird von der Hydrophobieeigenschaft der äußeren Grenzflächen stark beeinflusst. Durch bestimmte Oberflächenmodifikation können nanostrukturierte superhydrophobe Isolieroberflächen erzeugt werden. Im Rahmen dieser vorliegenden Diplomarbeit wird das Alterungsverhalten von derartigen Isolieroberflächen untersucht. Hierzu werden verschiedene Prüfverfahren verwendet, um den Alterungsprozess der Oberflächen zeitraffend nachzubilden. Die Bewertung der gesammelten Meßergebnisse ermöglicht schließlich eine Aussage über

die Langzeitstabilität der verwendeten Beschichtungsstoffe.

Gerhard, Heike

Ganzheitliche Bewertung der Netzintegration von offshore Windparks in Deutschland

Im Rahmen der Diplomarbeit wird die Netzintegration von offshore Windparks und der damit verbundene, notwendige Netzausbau in Deutschland unter technisch-wirtschaftlich-ökologischen Rahmenbedingungen untersucht. Dazu werden Szenarien entworfen und anschließend mit der Methodik der Ökobilanzierung unter Berücksichtigung der Kosten bewertet.

Heywang, Klaus

Untersuchung unterschiedlicher Störlichtbogenabsorber

Sogenannte Störlichtbogenenergieabsorber bestehen im Allgemeinen aus Streckmetallgittern und tragen dazu bei, Überdrücke im Falle eines inneren Fehlers zu verringern. Die Arbeit befasst sich mit der experimentellen Untersuchung und Auswertung von verschiedenen Absorberkonstruktionen. Bei den Versuchen werden Geometrie, Einbauort und Anzahl der Absorberelemente variiert und miteinander verglichen. Ziel ist es, relevante Kriterien für den Aufbau von wirksamen Störlichtbogenenergieabsorbern zu ermitteln.

Hintzen, Tobias

Methodenentwicklung zur ökologisch-wirtschaftlichen Bewertung von Verteilungsnetzen

In der vorliegenden Arbeit wurde eine Methode zur ökologisch-wirtschaftlichen Bewertung der dezentralen Energiewandlung in elektrischen Verteilungsnetzen entwickelt. Neben technischen Rahmenbedingungen werden in der Methodik auch die

wirtschaftliche und ökologische Bewertung der dezentralen Energiewandlung berücksichtigt.

Kessler, Michael

Untersuchung zum Einfluss verschiedener Herstellungsparameter auf die elektrischen Eigenschaften von elastischem syntaktischem Schaum

Ein spezieller syntaktischer Schaum auf Basis eines Silikongels wird bei mehrschichtigen Isolieranordnungen verwendet, da dieses Material eine hohe Spannungsfestigkeit aufweist und aufgrund der Elastizität der verwendeten Komponenten gleichzeitig thermische Lastspiele kompensieren kann, ohne dass es zu Rissbildungen oder Ablösungen in der Grenzschicht zwischen den Isolierschichten kommt. In dieser Arbeit wird der Einfluss verschiedener Herstellungsparameter (Durchmesser und Beschichtung der Mikrohohlkugeln, Volumenanteil der Kugeln am Material) auf die elektrischen Eigenschaften des Isolierstoffes untersucht.

Klößner, Patrick

Bewertung des Einflusses von Veränderungen im Energiemix auf den Einsatz von dezentralen Energiewandlungsanlagen in Verteilnetzen am Beispiel Deutschland

Der zukünftige Energiemix in Deutschland ist weitestgehend unbestimmt. Anhand aktueller Studien und Veröffentlichungen wurden in der Arbeit Szenarien zur zukünftigen Energieversorgung erstellt. Aus den Ergebnissen lässt sich ableiten, wie die zukünftige Stromversorgung aussehen könnte. Unter diesen Rahmenbedingungen kann dann je nach Szenarientyp ein möglicher Beitrag dezentraler Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen abgeschätzt werden.

Kurz, Andreas

Experimentelle und theoretische Untersuchung des thermischen Ausschaltvermögens eines CO₂ - Selbstblasleistungsschaltermodells

SF₆ ist das meist verwendete Löschgas in gasisolierten Leistungsschaltern. Das hohe Treibhauspotential (GWP global warming potential) von SF₆, welches zu 22200 CO₂ Massenäquivalenten bestimmt worden ist, macht es hinsichtlich der ökologischen Gesichtspunkte erforderlich, mögliche Ersatzgase für SF₆ zu bestimmen. Aufgrund seiner elektrischen und thermodynamischen Eigenschaften stellt CO₂ eine mögliche Alternative für reines SF₆ dar. Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit das thermische Ausschaltvermögen eines CO₂ basierten Leistungsschaltermodells theoretisch und experimentell untersucht.

Mester, Christian

Entwurf und Implementierung von Algorithmen zur Rekonstruktion von Fehlstellengeometrien aus Ultraschallmessdaten

Die Größen- bzw. Geometriebestimmung von Fehlstellen mittels Ultraschall ist lediglich abschätzungsweise möglich. Im Rahmen dieser Arbeit wurden Algorithmen entwickelt mit denen durch eine systemtheoretische Modellierung des Scannvorgangs unter Berücksichtigung der Schallwandler spezifischen Schallfeldparameter eine Rekonstruktion der Reflektor Geometrie möglich ist. Die dafür notwendige inverse Faltung wurde in Form eines rauschleistungskompensiertes Wiener-Filter implementiert und auf seine Leistungsfähigkeit überprüft.

Orth, Caroline

Untersuchung des Einflusses von Elektroden-Abbrandprodukten auf das Schaltvermögen von SF₆ - Selbstblasleistungsschalter-Modellen unter

Variation der Elektrodenanordnung

Das Ausschaltvermögen von Hochspannungsselbstblasleistungsschaltern hängt von dem Druck, der Temperatur und der Zusammensetzung des Löschgases ab. Während des Ausschaltvorgangs kann das Löschgas mit Elektrodenabbrandprodukten verunreinigt werden. Zur Untersuchung des Einflusses der Löschgaszusammensetzung auf das Ausschaltvermögen werden sowohl experimentelle Untersuchungen als auch CFD-Simulationen durchgeführt.

Piecha, Sebastian

Einspeisesteuerung zur optimalen, dezentralen Energiewandlung in der industriellen Energieversorgung

Abhängig von der zu steuernden Größen, können dezentrale Energiewandlungsanlagen (DEA) wärme-, strom-, ökonomisch sowie ökologisch geführt werden. Im Rahmen der Diplomarbeit werden Methoden zur Einspeisesteuerung entwickelt, nach denen DEA unter technisch-wirtschaftlich-ökologischen Gesichtspunkten und unter Ausnutzung möglicher Kraft Wärme Koppelung optimal in industriellen elektrischen Verteilnetzen betrieben werden können.

Podlazly, Jörn

Untersuchungen zum Einfluss der Temperatur auf die elektrischen Eigenschaften von syntaktischem Schaum

Im Rahmen dieser Arbeit werden die physikalischen Vorgänge in syntaktischem Schaum bei gleichzeitiger elektrischer und thermischer Belastung betrachtet und ihr Einfluss auf das Teilentladungsverhalten, den spezifischen Widerstand und die dielektrischen Eigenschaften von syntaktischem Schaum auf Epoxydharzbasis in einem Temperaturbereich zwischen 20° und 100° C ermittelt. Ein weiterer Aspekt in dieser Arbeit ist die Untersuchung von Raumladungsphänomenen, die bei verschiedenen

Versuchen mit Proben aus syntaktischem Schaum aufgetreten sind.

Scheffer, Jan

Experimentelle und theoretische Untersuchung des Stromnulldurchgangsbereichs an einem CO₂-Selbstblasschaltermodell

Selbstblasleistungsschalter sind wichtige Sicherheitselemente in Hochspannungsnetzen. Im Fehlerfall ermöglichen sie das sichere Ausschalten von Kurzschlußströmen. In der Regel wird Schwefelhexafluorid (SF₆) als Isoliergas in den Leistungsschaltern eingesetzt. Zur Untersuchung der Einsatzmöglichkeit von CO₂ als SF₆-Ersatz wird im Experiment der Stromnulldurchgangsbereich analysiert. Die Ergebnisse werden mit CFD-Simulationen verglichen.

Schnitzler, Tim

Entwicklung und Erprobung einer kondensatorgesteuerten Hochspannungsdurchführung in Epoxidharzbauweise mit neuem Werkstoff als Ersatz für hygroskopischen Zellstoff

Siefen, Kirstin

Verfahren zur Bewertung von Inhomogenitäten in polymeren Isolierstoffen der elektrischen Energietechnik hinsichtlich Ausdehnung, Geometrie und Orientierung mittels Ultraschall

Zur Charakterisierung von Lage, Ausdehnung und Geometrie von Fehlstellen in Isoliermaterialien wird ein Verfahren untersucht, welches auf der Analyse der Amplitudendynamik des Ultraschallechos basiert. Hierbei handelt es sich um Winkelprüfverfahren, welches darauf beruht, dass Fehlstellen unterschiedlicher Geometrie eine unterschiedlich große Abnahme der Amplitude zeigen, wenn sie unter größeren

Winkeln beschallt werden. Flächige Fehlstellen können so von volumigen Fehlstellen unterschieden werden. Des Weiteren wird ein neues Verfahren entwickelt mit bei dem, unter Ausnutzung der Dynamik des Rückwandechos der Fehlstelle, eine Unterscheidung zwischen runden und ellipsoiden Fehlstellen möglich ist.

Siefert, Marcia

Untersuchungen zum Treeing-Verhalten von syntaktischem Schaum auf Basis von Epoxydharz und Glas-Mikrohohlkugeln

Bei Belastung von syntaktischem Schaum mit hohen Wechselspannungen treten im Material Teilentladungen auf. Diese Diplomarbeit befasst sich mit der Untersuchung von Ursache und Entwicklung dieser Teilentladungsaktivität und den Prozessen, die bei einer Überbelastung zu Materialerosion (Treeing) und schließlich zu einem Versagen des Isolierstoffs führen können.

Velkov, Vassil

Durchführung von Durchschlagsversuchen zur Ermittlung der elektrischen Festigkeit von Öl-Papierprüflingen in Abhängigkeit von der Temperatur und bei schwingenden Spannungen

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Spannungsquelle für Durchschlagsuntersuchungen an Öl-Papier-Isolierungen konstruiert. Diese ermöglicht die Prüfung mit schwingenden Stoßspannungen im Bereich von 10kHz bis 25kHz. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass die Blitzstoßfestigkeit von Öl-Papier-Isolierungen zwischen -20°C und 80°C nahezu temperaturunabhängig ist.

Masterarbeiten

Bemert, Sergej

Entwicklung einer aktiven Feldsonde zur Messung der Betriebsspannungen an dreiphasigen Leistungstransformatoren

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Messsystem entwickelt, mit dem, unter Verwendung von Feldsonden, Betriebs- und transiente Spannungen im Betrieb von Leistungstransformatoren gemessen werden können. Durch Ausrichtung von Feldsonden auf die Hochspannungselektroden eines Transformators ist eine kontaktlose Messung möglich, welche die Nichtlinearität der konventionellen Messung mittels externem Unterkondensator nicht aufweist.

Dokhani, Aref Adibi

Verfahren zur Rekonstruktion der Geometrie von Inhomogenitäten in polymeren Isolierstoffen mittels laufzeitbasierter Ultraschall-Verbundabtastung

Es werden Untersuchungen hinsichtlich der Rekonstruktion der Geometrie von singulären Fehlstellen mittels eines Ultraschall-Winkelprüfverfahrens durchgeführt. Es werden hierbei laufzeitbasierte Tauchtechnik-Verfahren konzeptioniert und implementiert, welche im Ergebnis Informationen hinsichtlich der Größe und Geometrie liefert. Die Leistungsfähigkeit der Verfahren wird zudem in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern (Fehlergröße, Fehlergeometrie, Prüffrequenz) evaluiert.

Herrera, Luis Eduardo Bejarano

Investigation on superhydrophobicity of test specimens in salt fog

The flashover performance of an insulation system under pollution is mainly determined by its external interfaces. The property, surface hydrophobicity, makes it difficult to

form such a water film and superhydrophobicity enhances this capacity to a great extent. During this master thesis, the superhydrophobicity is examined under artificial salt fog. Electrical parameters, like leakage current, are used to evaluate the degradation level of the samples. The correlation between multi-stress and surface degradation is found in the end.

Kaminskis, Uldis

Optimisation of the nozzle geometry of a gas circuit breaker model with regard to thermal interrupting capability

The interruption capability of SF6 self-blast circuit breakers depends not only on the blow gas pressure, quenching gas composition and the surrounding network, but also on the blow gas flow which is essentially influenced by the nozzle geometry. The aim of the investigation is to optimise the nozzle geometry by analysing the arc resistance at current zero obtained from CFD-simulations. The simulations are validated by experiments.

Luo, Xiao Long

Modified superhydrophobic insulation surfaces under simulated electrical and climatic stresses

The surface hydrophobicity of insulating systems plays an very important roll against pollution-induced flashovers at operation. The nanostructured superhydrophobic insulating surfaces show a very big contact angle and they can be created with developed surface modification. The aging of such surfaces is studied in this work. The electrical and climatic stresses are used to accelerate the process in the labor. Finally, the influence of release agents is investigated.

Merhi, Hassan

Investigation of different design features for modules of long distance gas insulated bus ducts

Today, bus duct installation is bound to the geometrical positions of the switchgear and the transformer with respect to it. The objective of all existing designs is to possess a certain range of tolerance in order to counterweight any thermal expansion with long distances. The purpose of this work is to test the possibility of developing a link between the bus duct connections while preserving all the electrical and dielectric characteristics of the GIS system. Hence, a new space-saving and cost effective technology is to be achieved with the main focus of ensuring the absorption of any axial deviation and simultaneously checking for small angular variations.

Paim, Juliana

Assessment of grid integration concepts for offshore wind farms under economical conditions

In the thesis different technical approaches for the grid integration of offshore wind parks are analyzed with the Life Cycle Costing approach. Therefore AC and DC power transmission systems with all relevant economical parameters (power losses, manufacturing, installation and operation costs, etc.) are taken into account for the assessment of the systems. A Cost analysis of different scenarios for grid integration of offshore wind parks defined in the DENA studies are analyzed as well.

Vijayakumar, Nandhakumar

Analysis and assessment of transmission technologies for power transmission from offshore wind parks

In this thesis, different power transmission systems for the grid integration of offsho-

re wind parks are analyzed. AC/ DC cables and overhead lines and GIL systems are compared regarding their technical performance in grid integration scenarios for offshore wind parks.

Ucchintala, Ravindra Kumar

Experimental and theoretical investigation of the erosion and widening of PTFE insulating nozzles

Two distinct mechanisms are causing the ablation of Teflon (C2 F4) in SF6 self-blast circuit breakers: pyrolysis and photodegradation. So far only photodegradation is considered in the ablation modelling used in computational fluid dynamics (CFD) simulations. Comparing simulation results and experimental investigations this work shall clarify whether there is a significant influence of pyrolysis on the total ablation or not.

Studienarbeiten

Averes, Markus:

Entwicklung eines Rad-Tauchverfahrens zur Ermittlung des Oberflächenalterungsverhaltens von Modellprüfkörpern

Behm, Mathias

Erstellung von Szenarien dezentraler Energiewandlung mit Biogasanlagen

Golidis, Andreas

Wirkung von Lichtbogenabsorber mit unterschiedlicher Anzahl von Elementen

Heinbockel, Andreas

Automatisierte Detektion von Inhomogenitäten an einer inneren Materialgrenzfläche mittels Ultraschall

Hoffacker, Matthias

Untersuchungen des Einflusses von Kontakthub und Querkonditionierung bei hochfrequenz-längskonditionierten Vakuumschaltkammern

Jansen, Georg

Evaluation von Inhomogenitäten in elastomeren Isoliermaterialien mittels Ultraschall

Kujat, Swetlana

Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Herstellungsparameter auf die Teilentladungs-Erosion in Nadel-Platten-Prüflingen mit Isolierung aus syntaktischem Schaum

Magnor, Dirk

Untersuchungen des Teilentladungsverhaltens verschiedener Mikrohohlkugeltypen in einer SF₆-Atmosphäre

Mosek, Severin

Entwicklung eines Programms zur Ansteuerung einer Messkarte mit HPV_{EE}

Spata, Martin

Untersuchung zum Einfluss mechanischer und thermischer Belastung auf die elektrischen Eigenschaften von elastischem syntaktischem Schaum

Reuter, Stefan

Analyse der Ökobilanzergebnisse eines Verteilnetzes auf Basis unterschiedlicher Datenbanken

Veröffentlichungen / Publications

T. Smolka, A. Schnettler:

Zukünftige Energieversorgungsszenarien - Mögliche Beiträge dezentraler KWK-Anlagen in Verteilungsnetzen
VIK Fachtagung Technik, Darmstadt 2006

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

Die nachhaltige Entwicklung der Stromversorgung in Deutschland - Verteilungsnetze bei steigender dezentraler Energiewandlung im Energieland NRW
VDE Kongress 2006, VDE Verlag GmbH Berlin 2006

M. Schwan, K. Schilling, U. Zickler, A. Schnettler:

Component reliability prognosis in asset management methods
9th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power System (PMAPS), Stockholm 2006

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

Industrial Testing of High Voltage Joints Using Ultrasound
Cigré Session, Paper No. D1-103, Paris (France) 2006

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

Outline of a methodology for measuring eco-efficiency and sustainability in decentralized power grids
2nd International Conference on Quantified Eco-Efficiency Analysis for Sustainability Egmond aan Zee (Netherlands), 2006

M. Rösner, F. Hofmann, A. Schnettler:

Dielectric strength of oil-paper-insulation under transient voltage stress
IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Toronto (Canada) 2006

T. Smolka, S. Federlein, A. Schnettler:

Offshore Windparks als Stromlieferant zur Wasserstoffherzeugung - Szenarienbetrachtung unter ökologischen Gesichtspunkten
2. Ökobilanzwerkstatt, Netzwerk Lebenszyklusdaten Bad Urach 2006

M. Seeger, L. Niemeyer, T. Christen, M. Schwinne, R. Dommerque:

An integral arc model for ablation controlled arcs based on CFD simulations
J. Phys. D: Appl. Phys. 39, 2180-2191, 2006

J. C. Kahlen, M. Schwinne, C. Orth, C. M. Franck, M. Seeger, A. Schnettler:

Influence of electrode vapour contamination on the thermal interruption capability of a SF₆ selfblast circuit breaker model
Proceedings of XVI International Conference on Gas Discharges, Xi'an (China) 2006, pp. 9-12

M. Schwinne, J. C. Kahlen, M. Bujotzek, C. M. Franck, A. Schnettler:

Cooling mechanisms of the hot gas flow in the exhaust volume of SF₆ selfblast circuit breakers
Proceedings of XVI International Conference on Gas Discharges, Xi'an (China) 2006, pp 13-16

M. Seeger, L. Niemeyer, T. Christen, M. Schwinne:

An integral arc model for ablation controlled arcs

Proceedings of XVI International Conference on Gas Discharges and their Applications, Xi'an (China) 2006, Vol. 1, pp. 65-68

M. Schmale, G. J. Pietsch:

On arc energy absorption by cooling devices in electrical installations

Proceedings of XVI International Conference on Gas Discharges and their Applications, Xi'an (China) 2006, Vol. 1, pp. 61-64

X. Zhang, G. J. Pietsch, J. Zhang:

Estimation of the effective arc voltage with consideration of radiation during a three-phase arc fault

Proceedings of XVI International Conference on Gas Discharges and their Applications, Xi'an (China) 2006, Vol. 1, pp. 85-88

X. Zhang, G. J. Pietsch, J. Zhang:

Estimation of the fault arc currents during a three-phase arc fault

Proceedings of XVI International Conference on Gas Discharges and their Applications, Xi'an (China) 2006, Vol. 2, pp. 705-707

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

Treatment of Carbon Tetrafluoride with Gas Discharges

Ozone: Science and Engineering 28, 2006, pp.119-24

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

On the Performance of Ozone Generators Working with Dielectric Barrier Discharges
Contributed Papers „HAKONE X“ 10th International Symp. on High Pressure Low Temp. Plasma Chemistry, Saga University (Japan) 2006, Sept. 4-8, pp. 128-31

X. Zhang, G. J. Pietsch, J. Zhang, E. Gockenbach:

Fundamental Investigation on the Thermal Transfer Coefficient Due to Fault Arcs

IEEE Trans. Plasma Sciences 34, 2006, pp. 1038-45

X. Zhang, G. J. Pietsch, E. Gockenbach:

Investigation of the Thermal Transfer Coefficient by the Energy Balance of Fault Arcs in Electrical Installations

IEEE Trans. Power Del. 21, 2006, pp. 425-31

J. Schneider, A. J. Gaul, C. Neumann, J. Hogräfer, W. Wellßow, M. Schwan, A. Schnettler:

Asset management techniques

Electrical Power and Energy Systems 28 (2006), pp. 643-654

H. Fink, D. Gentsch, B. Heil, C. Humpert, A. Schnettler:

Conditioning of vacuum gaps for medium voltage applications by applying high-frequency (HF) currents to increase the dielectric strength

Proceedings of XVI International Conference on Gas Discharges and their Applications, Xi'an (China) 2006, Vol. 1, pp. 373-376



Lehre am ifht

Teaching at ifht

Lehre am ifht

Hochspannungstechnik I (SS)

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

Inhalt

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

High Voltage Engineering I (Summer Term)

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

Schutzmaßnahmen und Schutzeinrichtungen in elektri- schen 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 Instal- lations

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

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, HT-SC)

Seminar Hoch- und Mittelspannungsschaltgeräte und -anlagen (SS)

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

ab 6. Semester

Inhalt

- Schaltlichtbögen
- SF₆-Hochspannungsleistungsschalter
- Vakuumschalter
- Hochspannungssicherungen
- Kabelsteckverbindungen
- Leistungstransformatoren
- Einführung in die Anlagentechnik und gasisolierte Schaltanlagen
- Freiluftschaltanlagen und Anlagen der Hochspannungsgleichstromübertragung
- Mittelspannungsfelder und -schaltanlagen
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen in der Entwicklung
- Schutz- und Stationsleittechnik
- Betriebserfahrungen mit moderner Sekundärtechnik
- Ortsnetzstationen
- Asset Management in Verteilnetzen

Siehe Bericht auf Seite 111

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:

- Wechselspannungsmessung 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 Grundlagenversuche zur Einarbeitung in die elektrische Versuchstechnik mit folgenden Themenkreisen:

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

High Voltage Laboratory

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

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

Chronik

Seminar Hoch- und Mittelspannungs- schaltgeräte und -anlagen

Aktivitäten 2006

Exkursionen

Chronicle

Technical Seminar on Medium and High Voltage Equipment and Substations

Activities in 2006

Technical Excursions

105

Chronik 2006

19.01.06

6. Workshop ÖKOPROFIT Region Aachen am Institut für Hochspannungstechnik Teilnehmer: Armin Schnettler, Wilfried Kreitz, Holger Krings, Uwe Macharey, Thomas Smolka, Walter Taeter, Helmut Gehlen, Christian Cornelissen sowie Teilnehmer der städtischen und ländlichen Verwaltung und Industrie

20.01. - 22.01.06

Strategiewochenende auf Schloss Gnaden-
thal in Kleve:

Teilnehmer: Armin Schnettler, Gerhard Pietsch, Christian Cornelissen, Kittipong Anantavanich, Danial, Robert Dommerque, Stefan Federlein, Bernhard Heil, Christoph Kahlen, Holger Krings, Uwe Macharey, Piotr Margiel, Michael Schmale, Michael Schwinne, Thomas Smolka, Ming Tang, Alexander Tröger, Philipp Walter, Torsten Wirz, Junliang Wu,



Sportliches Ausgleichsprogramm

23.01. - 28.01.06

DAAD-Vorauswahlsitzung für Studienbe-
werber aus der russischen Föderation in
Moskau

Teilnehmer: Gerhard Pietsch

23.01. - 10.02.06

Robert Kuhlen, Realschule Würselen, ab-
solviert Schülerpraktikum in der Mechanischen Werkstatt

Betreuer: Helmut Gehlen

27.01.06

Unterzeichnung des Vertrags zur Gründung
eines gemeinsamen Energieforschungszen-
trums mit E.ON durch den Rektor der
RWTH Aachen

31.01.06

Letzter Arbeitstag von Christian Cornelis-
sen und Pinit Jitjing

01.02.06

Neuer Oberingenieur: Bernhard Heil

01.02.06

Erster Arbeitstag von Andrey Mashkin

08.02.06

Doktorprüfung von Thanapong Suwanas-
ri zum Thema „Investigation on No-load
Mechanical Endurance and Electrical De-
gradation of a Circuit Breaker Model under
Short Circuit Current Interruption“

08.02.06

Doktorprüfung von Robert Dommerque
zum Thema „Einfluss des Elektrodenab-
brandes auf das Ausschaltverhalten eines
SF6-Selbstblasschalters“

09.02.06

Doktorprüfung von Bernhard Heil
zum Thema „Untersuchungen zur
Hochfrequenz-konditionierung von
Vakuumschaltkammern“

12.02. - 18.02.06

Armin Schnettler und Dirk Uwe Sauer besuchen die Thai German Gradual School (TGGS) in Bangkok, Thailand

28.02.06

Letzter Arbeitstag von Holger Krings und Michael Schmale

02.03. - 03.03.06

Doctoral Workshop on Future Energy Systems, ETH Zürich
Referenten: Uwe Macharey, Thomas Smolka, Armin Schnettler

13.03. - 17.03.06

Auswahlgespräche mit Bewerbern aus der Russischen Föderation für DAAD-Studienstipendien (Masterprogramm) in Moskau
Teilnehmer: Gerhard Pietsch

14.03. - 16.03.06

Stuttgarter Hochspannungssymposium (IEH)
Teilnehmer: Stefan Federlein

17.03. - 20.03.06

Kick-off-Veranstaltung „AI Masdar Research Network“ in Abu Dhabi
Teilnehmer: Armin Schnettler, Heribert Nacken

28.03.-29.03.06

Tagung „Netzanbindung von Offshore Windparks“ im Haus der Technik
Teilnehmer: Uwe Macharey

31.03.06

Letzter Arbeitstag von Robert Dommerque, Thanapong Suwanasri und Alexandra Formella

01.04.06

Erster Arbeitstag von Walter Logen

05.04. - 09.04.06

Fachtagung „Werkstoffe für Isolatoren, Überspannungsableiter, Kabelgarnituren, Schaltgeräte in der Hochspannungstechnik“ in Berlin
Teilnehmer: Alexander Tröger

07.04.06

Offizieller Start der AI Masdar Initiative in Abu Dhabi Univ.-Prof. Dr. Schnettler, Univ.-Prof. Dr. Nacken

25.04.06

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

26.04.06

FGH-Seminar „VDN-Störungs- und Verfügbarkeitsstatistik“
Teilnehmer: Stefan Federlein

27.04.06

Teilnahme an der Hannover Messe - Beitrag „Zukünftige Netzstrukturen bei steigender dezentraler Energiewandlung am Beispiel NRW“
Referent: Thomas Smolka
Moderation einer ZVEI-Podiumsdiskussion durch Armin Schnettler

02.05.06

Erster Arbeitstag von Michael Keßler

10.05.06

Panel Discussion on „Reliable Power - Europe's Strength“, EU in Brüssel
Panel-Teilnehmer: Armin Schnettler, Bernhard Heil, Danial, Stefan Federlein, Thomas Smolka, Ming Tang

11.05. - 12.05.06

Podiumsteilnahme bei E.ON-Veranstaltung „Energie, Effizienz, Engagement - Gesellschaftliche Verantwortung bei E.ON“ im DBB-Forum Berlin

Teilnehmer: Armin Schnettler

05.06. - 09.06.06

Pfingstexkursion nach Berlin und Hannover

10.06. - 15.06.06

Besuch der Staatlichen Polytechnischen Universität St. Petersburg, Russland, im Rahmen einer Zusammenarbeit mit der RWTH Aachen

Armin Schnettler und Gerhard Pietsch

11.06. - 15.06.06

Verleihung des „PMAPS International Conference Prize Paper Award“ in Stockholm für das Paper „Component reliability prognosis in asset management methods“ an Michael Schwan, Klaus Schilling, Uwe Zickler und Armin Schnettler

19.06.06

Erster Arbeitstag von Bernhard Schowevon der Brelie

21.06. - 23.06.06

Dr. M. Iwata vom Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI), Japan, besucht das Institut

26.06.06

Besuch einer niederländischen Delegation an der RWTH Aachen, u. a. am Institut für Hochspannungstechnik

Teilnehmer: Minister Eurlings und niederländische Delegation

27.06. - 28.06.06

Grenzflächenkolloquium, Universität Braunschweig

Teilnehmer: Michael Keßler, Alexander Tröger, Torsten Wirz, Junliang Wu

29.06. - 30.06.06

Eco Efficiency Conference in Egmond am Zee

Teilnehmer: Thomas Smolka

30.06. - 02.07.06

Traditionelles Segelwochenende am Veerser Meer

03.07. - 04.07.06

RWTH-VDE-FGH-Seminar „Hoch- und Mittelspannungsschaltanlagen und -schaltgeräte“

Referent und wissenschaftlicher Leiter: Martin Schumacher

Referent: Armin Schnettler

13.07.06

Vorträge „Berufliche Zukunft in der Industrie“

Referenten: Herr Friberg, Herr Braun / ABB

Semesterabschlussgrillen für Studenten auf Einladung von ABB

20.07. - 21.07.06

Gründungssitzung des „Al Masdar Research Network“ in Abu Dhabi

Armin Schnettler

01.08.06

Erster Arbeitstag von Hanna Sophia Johnen
Ausbildungsberuf: Kauffrau für Bürokommunikation

29.08. - 01.09.06

Teilnahme an der CIGRÉ-Konferenz in Paris

Armin Schnettler, Thomas Smolka

30.08. - 03.09.06

Besuch des Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI) in Yokosuka, Japan, Gerhard Pietsch

31.08.06

Letzter Arbeitstag von Philipp Walter

01.09.06

Erster Arbeitstag von Thomas Honné
Ausbildungsberuf: Mathematisch-
Technischer Assistent

03.09. - 06.09.06

ABB Kolloquium „Power and productivity
for a better world“ 2006 in Interlaken
Referent: Armin Schnettler

04.09. - 10.09.06

10th. Int. Symposium On High Pressure
Low Temperature Plasma Chemistry (HA-
KONE X) in Saga, Japan
Teilnehmer: Gerhard Pietsch

06.09. - 07.09.06

3. ZVEI Zukunftforum der Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie
Referent: Armin Schnettler

07.09. - 16.09.06

„XVI International Conference on Gas
Discharges and their Applications“, Xi'an
Jiaotong University
Teilnehmer: Bernhard Heil, Christoph Kah-
len, Gerhard Pietsch, Michael Schwinne

18.09.06

Inbetriebnahme „Freileitungs-Monitoring“
E.ON Netz Konzept „Windintegration
2010“ in Hamburg
Referent: Armin Schnettler

24.09. - 29.09.06

Teilnahme an der „European Conference on
Non-destructive Testing“ in Berlin
Referent: Torsten Wirz

26.09.06

Auswahlsitzung im Rahmen des DAAD-
Sonderprogramms „Akademischer Neuauf-
bau Südosteuropa“ in Bonn-Bad Godesberg
Teilnehmer: Gerhard Pietsch

27. - 28.09.06

Fachtagung „Assetmanagement in Vertei-
lungsnetzen - Methoden, Daten, Praxiser-
fahrungen“ in Heidelberg
Teilnehmer: Armin Schnettler

30.09.06

Hochzeit von Stefan Federlein und Anja
Weber im Aachener Dom

13.10.06

Betriebsausflug nach Koblenz, Besichti-
gung der Burg Eltz mit anschließender
Weinprobe

23.10. - 26.10.06

VDE-Kongress in Aachen
Beiträge durch Armin Schnettler, Uwe
Macharey, Thomas Smolka

29.10. - 01.11.06

Auswahlsitzung für Lomonossov-
Stipendiaten der Russischen Föderation in
Moskau
Teilnehmer: Gerhard Pietsch

31.10.06

Letzter Arbeitstag von Danial

02.11.06

Erster Arbeitstag von Andreas Kurz

07.11.06

Mikimasa Iwata vom CRIEPI, Japan, be-
ginnt seinen einjährigen Aufenthalt als
Gastwissenschaftler am Institut, um auf
dem Gebiet der Störlichtproblematik zu ar-
beiten

07.11.06

ZVEI-Fachkongress „Energie im Dialog“ - „Energieeffizienz und europäische Energiepolitik - große Herausforderungen erfordern neues Denken“ in Essen

Fachvortrag: Armin Schnettler, Teilnehmer: Bernhard Schowe-von der Brelie

10.11.06

Doktorprüfung von Dipl.-Ing. Michael Schmale zum Thema „Untersuchungen zur Beeinflussung des durch Störlichtbögen verursachten Überdrucks in elektrischen Anlagen“

11.11.06

Jubiläumsveranstaltung Verleihung des Preises „Der Mann mit der ruhigen Kugel“ im Rahmen des „30. Hochwissenschaftlichen Kolloquiums“ am Institut an Torsten Wirz

15.11.06

CIGRÉ / CIRED Informationsveranstaltung „Komponenten und Systeme für Stromnetze“ in Dortmund

Teilnehmer: Armin Schnettler

15.11.06

ZDF-Interview zu Pressekonferenz von E.ON zur Netzstörung am 4. November
Armin Schnettler

21.11.06

Tagung „Störfallmanagement Versorgungsnetze“ in Essen

Teilnehmer: Stefan Federlein

21.11.06

Acatech-Symposium „Die Zukunft der Energieversorgung in Deutschland. Herausforderungen - Perspektiven . Lösungswege“ in Berlin

Teilnehmer: Armin Schnettler

30.11. - 01.12.06

„ABB Transformer Days - Transformers for reliable Power Quality“ in Istanbul /Türkei
Referent: Armin Schnettler

06.12.06

RWE-Rhein-Ruhr-Hochschuldialog in Essen

Teilnehmer: Armin Schnettler

07.12.06

Eishockey Unicum an der RWTH
Teilnehmer (und zweifacher Torschütze):
Armin Schnettler

08.12.06

Tag der Elektrotechnik und Informationstechnik der RWTH Aachen Verleihung des ABB-Awards für eine sehr gute energietechnische Diplomarbeit an Michael Keßler

11.12.06

Doktor-Prüfung von Philipp Walter zum Thema „Detektion und Evaluation von Inhomogenitäten im Volumen und an inneren Grenzflächen in polymeren Isoliersystemen mittels Ultraschall“

20.12.06

Weihnachtsfeier des IFHT

Seminar Hoch- und Mittelspannungsschaltgeräte und -anlagen 3.7. - 4.7. 2006

Wie bereits in den vergangenen vier Jahren fand auch in 2006 das Blockseminar als Weiterbildungsveranstaltung des Instituts für Hochspannungstechnik in Zusammenarbeit mit dem VDE-Regio Aachen und der FGH Mannheim statt.

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

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

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



Das Seminar-Programm gliederte sich in folgende Vorträge:

- **Begrüßung**
Prof. Dr.-Ing Rolf Windmüller
VDE Landesvertretung NRW
- **Einführung in die Thematik**
Dr.-Ing. Martin Schumacher,
ABB AG Hochspannungsprodukte,
Hanau-Großauheim
- **Schaltlichtbögen**
Dr.-Ing. Max S. Claessens,
ABB Schweiz AG, Zürich
- **SF₆-Hochspannungsleistungsschalter**
Dr.-Ing. Roland von Starck,
Siemens AG, Berlin
- **Vakuumschalter**
Dr.-Ing. Dietmar Gensch,
ABB AG Calor Emag Mittelspannungsprodukte, Ratingen
- **Hochspannungssicherungen**
Dipl.-Ing. Johannes-Goerg Gödeke,
SIBA GmbH & Co. KG, Lünen
- **Kabelsteckverbindungen**
Dipl.-Ing. Andreas Dobler
Pfisterer Kontaktsysteme GmbH & Co. KG, Winterbach
- **Leistungstransformatoren**
Dipl.-Ing. Karl-Heinz Häger,
AREVA Energietechnik GmbH, Möchengladbach
- **Einführung in die Anlagentechnik und gasisolierte Schaltanlagen**
Dr.-Ing. Martin Schumacher,
ABB AG Hochspannungsprodukte,
Hanau-Großauheim

- **Freiluftschaltanlagen und Anlagen der Hochspannungsgleichstromübertragung**
Dr.-Ing. Uwe Kaltenborn,
AREVA Energietechnik GmbH, Berlin
- **Mittelspannungsfelder und -schaltanlagen**
Dipl.-Ing. Heinz Schartze,
ABB AG Calor Emag Mittelspannungsprodukte, 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 Sekundärtechnik**
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



Die Teilnehmerzahl lag bei insgesamt 75 Teilnehmern, von denen 35 aus der Industrie stammen sowie 40 Studierende. Im Jahr 2007 soll das Seminar auch wieder angeboten werden, dann jedoch in modifizierter Form: Um die Themengebiete Schutz- und Stationsleittechnik eingehender als bisher behandeln zu können, soll das Seminar an drei Tagen mit erweitertem Programm stattfinden. Wie üblich wird für die teilnehmenden Studierende eine Exkursion angeboten werden. Dieses Jahr hatte die Exkursion erneut die 400kV Schaltanlage Aachener Kreuz der STAWAG zum Ziel und anders als im vergangenen Jahr im Anschluß die Fertigung der ABB AG Calor Emag Mittelspannungsprodukte in Ratingen. Bei allen Vortragenden, der STAWAG, Aachen und ABB AG Calor Emag Mittelspannungsprodukte, Ratingen möchten wir uns an dieser Stelle noch einmal herzlich bedanken.

Übergreifende Forschungs- und Projektentwicklungen

Auch im Jahre 2006 hat das IFHT eine Sprecherrolle für die fach- und themenübergreifenden Forschungsaktivitäten in der Energieforschung an der RWTH Aachen übernommen und entsprechende Projektakquisitionen vorangetrieben. In mehreren Initiativen sind hierbei starke fachübergreifende Verbünde innerhalb der Hochschule sowie mit externen Partnern geschaffen worden.

Einleitung

Die Energieforschung an der RWTH Aachen deckt das gesamte Spektrum der Prozesskette von der Bereitstellung der Primärenergieträger, über die Aufbereitung und Veredelung von Sekundärenergieträgern bis hin zur Übertragung und Verteilung der Nutzenergie zum Konsumenten ab. Sie ist damit zugleich stark interdisziplinär unter Beteiligung der verschiedenen natur- und ingenieurwissenschaftlichen Fachrichtungen geprägt und bindet darüber hinaus in vielen Kooperationsprojekten auch externe Partner aus Industrie und Wissenschaft ein, wie zum Beispiel das Forschungszentrum Jülich oder das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Erst durch solche inter- und transdisziplinäre Forschungsansätze können innovative Antworten auf die drängenden Herausforderungen an eine zuverlässige, wettbewerbsfähige und ökologisch tragfähige Energieversorgung der Zukunft entwickelt werden.

Exzellenzinitiative

Die Anfang des Jahres abschlägig beschiedene Projektskizze zur Einrichtung des Exzellenzclusters „Future Power Systems“ ist im Rahmen der zweiten, diesjährigen Antragsrunde im Auftrag des Rektorats unter der Koordination des IFHT weiter ausgearbeitet worden. Dabei wurde eine Fokussierung auf die stationäre Energieversorgung mit dem Schwerpunkt einer hoch-effiziente

Energiewandlung und der Übertragung und Verteilung in integrierten Energienetzen vorgenommen. Das energietechnische Konsortium umfasst neben mehreren Instituten der RWTH Aachen aus unterschiedlichen Fachbereichen auch weitere externe Forschungseinrichtungen. Die überarbeitete Projektskizze „Sy/E/nergy“ ist im September bei der DFG eingereicht worden, wurde jedoch leider nicht - wie alle energietechnischen Voranträge - zur zweiten Runde eingeladen.

Al Masdar-Initiative

Eine weitere zentrale Rolle hat das IFHT bei der Entwicklung und Einrichtung des „Masdar Research Networks“ im Emirat Abu Dhabi eingenommen, einem globalen Forschungsnetzwerk zur Entwicklung innovativer und nachhaltiger Energie- und Umwelttechnologien. Neben der RWTH Aachen sind vier weitere weltweit führende technische Hochschulen aus Großbritannien, den USA und Japan sowie das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt beteiligt.

Das Masdar Research Network ist ein wichtiger Baustein der Masdar Initiative, die im Frühjahr gegründet worden ist und neben dem Forschungsnetzwerk eine Sonderwirtschaftszone, einen *Clean Tech Funds* sowie die Gründung einer Universität umfasst. Der Schwerpunkt des Forschungsnetzwerks liegt auf Energie- und Wassertechnologien, insbesondere zur CO₂-

Reduktion. Erste Projektideen werden derzeit an der RWTH Aachen entwickelt.



Abb. 1: Gründung des Masdar Research Networks (April 2006)

EU-Forschungsrahmenprogramm

Das kommende siebte Forschungsrahmenprogramm wird erstmals wieder einen eigenen thematischen Schwerpunkt zur Energieforschung bereitstellen. Zusammen mit weiteren Programmen der Europäischen Union (z.B. *Intelligent Energy Europe*) und vor allem den im vergangenen Jahr etablierten Technologieplattformen wird damit ein Rahmen für internationale Forschungskooperationen geschaffen. Das IFHT arbeitet in den Arbeitsgruppen der Technologieplattform „SmartGrids“ (*Europe's electricity networks of the future*) mit.

Ein Beispiel für eine erfolgreiche Kooperation im sechsten Forschungsrahmenprogramm ist das von der Forschungsgemeinschaft für elektrische Anlagen und Stromwirtschaft (FGH e.V.) in Mannheim koordinierte und durch Mitarbeiter des IFHT administrierte EU-Projekt **S-TEN**. S-TEN nutzt die Technologie des „semantischen Webs“ für den Betrieb und Unterhalt von sich selbst organisierenden physikalischen Netzwerken mit Messstellen und technischen Anlagen. Diese Netzwerke können ihre Existenz selbständig im Internet anmelden und geben ihre Position, ihre technische Beschreibung und die von ihnen zur Verfügung gestellten Dienste bekannt. Aus den verfügbaren Daten (Messdaten

und menschlichen Beobachtungen) können zudem regelbasiert automatisch Reaktionen abgeleitet werden, z.B. Meldungen über Ausfallwahrscheinlichkeiten oder Vorschläge für einzuleitende Maßnahmen. Anwendungen, die im Rahmen des Projekts untersucht werden, beziehen sich auf das Umwelt-Monitoring sowie auf die Steuerung und Wartung technischer Systeme. Eine Demo-Applikation des Projekts, die durch die FGH entwickelt wird, wird sich der Steuerung von verteilten Ressourcen in elektrischen Netzen widmen und damit unmittelbar zu den Arbeiten der Arbeitsgruppe *Nachhaltige Energiesysteme* des IFHT beitragen.

Ausblick

Mit der Gründung des E.ON Innovation Center im Sommer dieses Jahres ist der Forschungsstandort RWTH Aachen weiterhin gestärkt worden. Die *Arbeitsgruppe Energie* im Umwelt-Forum der RWTH Aachen stellt das für die inter- und transdisziplinären Kooperationen notwendige Netzwerk von mehr als 40 Instituten aus nahezu allen Fachbereichen der Hochschule zur Verfügung. Dieses Potenzial soll in den kommenden Jahren genutzt werden, um im Verbund mit weiteren Partnern national und international die Vorreiterrolle in der Energieforschung weiter auszubauen.

Weiterführende Informationen

S-TEN-Website: www.s-ten.eu

Kontakt

Dipl.-Phys.
Bernhard Schowe-von der Brälie
schowe@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94900

Comprehensive research and project design & development

As in previous years IFHT continued to be a key player for discipline and topic spanning activities in the field of energy research at RWTH Aachen University. Hence, several projects have been designed and submitted for funding in 2006. In some of these initiatives strong interdisciplinary networks within the university as well as with external partners have been established.

Introduction

Energy research at RWTH Aachen University covers the complete spectrum of the process chain from the allocation of primary energy sources, via processing and upgrading of secondary energy carriers up to transmission and distribution of the final effective energy to the consumer. Hence, energy research reveals a strong interdisciplinary character merging different sciences and engineering technologies. Moreover, external, scientific as well as industrial, partners are integrated in several co-operations. It is obvious that innovative answers with respect to the pushing challenges of a reliable, competitive and ecological sustainable future energy supply must be founded on such inter- and trans-disciplinary research approaches.

Excellence Initiative

In spring IFHT received a mandate by the university's rectorate to coordinate the revision of the former draft proposal „Future Energy Systems“ that had been rejected from full submission in its first loop in early 2006. This new concept on a Cluster of Excellence in the framework of the German Excellence Initiative focusses on stationary energy supply with special regard to highly-efficient conversion technologies and intelligent transmission and distribution in integrated energy networks. The consortium comprises several institutes of

RWTH Aachen University as well as external partners like Research Center Jülich and the German Aerospace Center. The revised draft proposal „Sy/E/nergy“ has been submitted to the German Research Foundation DFG in September.

Al Masdar Initiative

Another coordinating task has been covered by IFHT in 2006 with respect to the design and constitution of the „Masdar Research Network“ in the Emirate Abu Dhabi. This cooperation aims to establish a global research network for the development of innovative and sustainable environmental and energy technologies. In addition to RWTH Aachen University four other world leading technical universities from Great Britain, the United States and Japan as well as the German Aerospace Center will participate.



Fig. 1: Foundation of the Masdar Research Networks (April 2006)

The Masdar Research Network forms a main element of the Masdar Initiative,

founded in spring 2006. Next to the research network the initiative comprises a economic zone, a *Clean Tech Funds* as well as the establishment of a university. The research network itself focusses on energy and water technologies. First projects have already been developed by RWTH Aachen University.

EU Research Framework Programme

After a period of absence within FP6 the coming up seventh research framework programme (FP7) by the European Union will again provide a specific, self-contained theme on energy research within the co-operation programme. Hence, completed by further European programmes like *Intelligent Energy Europe* and especially the previously established European Technology Platforms (ETP) a reliable framework for international research cooperation is set up. IFHT is involved in working groups of the ETP „SmartGrids“ (*Europe's electricity networks of the future*).

As an example for a successful cooperation within FP6 the institute is closely involved in the EU-project **S-TEN** coordinated by the Forschungsgemeinschaft für elektrische Anlagen und Stromwirtschaft (FGH e.V.), Mannheim. S-TEN builds upon „Semantic Web Technologies“ for the operation and monitoring of self-organising physical and technical networks. Each component of the network will publish autonomously information about what it is, where it is, and what services it offers on the Web. These data may be used for rule based automation or best practise advices as

a framework for decision support towards the network operation. Domains of application will be demonstrated within the project referring to environmental monitoring as well as to the operation and maintenance of technical systems. One demonstrator will investigate the application of the new technology in the area of distributed generation power networks. Hence, it will contribute directly to the work within the *Sustainable Power Systems* group at IFHT.

Outlook

The foundation of E.ON Innovation Center at RWTH Aachen University in 2006 has further empowered Aachen's position in excellent energy research. More over the *working group Energy* within the Forum Environmental Sciences, also co-ordinated by IFHT, provides a network of more than 40 institutes covering almost all university's faculties and, hence, being essential for inter- and transdisciplinary cooperation. This high potential will be used to enlarge the existing national and international cutting edge in energy research in the future.

Further informationen

S-TEN-Website: www.s-ten.eu

Contact

Dipl.-Phys.
Bernhard Schowe-von der Brelie
schowe@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94900

Renovierungsmaßnahmen im Rogowski - Gebäude

Dank kontinuierlicher Renovierungs- und Sanierungsmaßnahmen während der vergangenen 5 Jahren, können wir heute mit Stolz auf einer deutlichen Verbesserung der Institutsstruktur und der Lehr- und Forschungssituation zurückgreifen. Für die Aufwertung der Außendarstellung des Instituts, zumindest im Gebäudeinneren, wurde ein erheblichen Beitrag geleistet.

Einleitung

Die für 2002 bei der Neubesetzung des Lehrstuhls angekündigte Grundsanierung ist bis zum heutigen Zeitpunkt nicht erfolgt und von Seiten des Bau- und Liegenschaftsbetriebes NRW (BLB), unseres Hausherrn, vage auf das Jahr 2009 verschoben worden. Im Gegenzug hat aber das BLB großzügig viele Maßnahmen unterstützt, die von uns angeregt wurden, um die Arbeitssituation zu verbessern.

Aus der Vielzahl der Maßnahmen tritt die Verlagerung der mechanischen Werkstatt in den Bereich der Mittelspannungshalle, besonders hervor. Vorangegangen war eine gründliche Entkernung der Halle mit der Demontage eines großen Generators mit Trafo und Nebenaggregaten. Fast gleichzeitig ersetzte man die veraltete Krananlage durch eine funkferngesteuerte, moderne 3 Tonnen Hub- Fahranlage. Der freigewordene alte Werkstattbereich wurde nach gründlichen Umbauten zu einem modernen Seminar - und Besprechungsraum. Auch das dem Institut angegliederte Praktikantenamt fand hier einen neuen Platz, sodass nun im Parterre sich die Verwaltung des Institutes in repräsentativen Räumen konzentriert. Zur Realisierung dieser Maßnahmen stellte das BLB alleine 350 T€ zur Verfügung.

Zügig wurde danach die Sanierung des Hörsaals E1 angegangen, der jetzt hell und freundlich mit zeitgemäßer medialer Ausstattung, klimatisiert den heutigen Anforderungen entspricht. Die Kosten hierfür betrugen 365 T€.

Im vergangenen Jahr investierte die Bau und Betriebsdirektion (BuB) der Hochschule in den Hörsaal Eph und in den kleinen physikalischen Hörsaal. Maßnahmen zur Verbesserung der Akustik, bei der medialen Ausstattung und der Klimatisierung wurden realisiert. Den Abschluss bildete eine gründliche Renovierung. Angehend 50 T€ wurden dafür benötigt.

Ebenfalls der BuB der Hochschule verdanken wir, pünktlich zu Beginn des VDE - Kongresses 2006, die Sanierung von Treppenhaus und Foyer in Verbindung mit zwei Institutsfluren im Parterre. Bedingt durch eine nicht vorhersehbare Asbestsanierung des Wandputzes, erreichten die Kosten für diesen Sanierungsabschnitt allein 120 T€, die teilweise vom BLB mit getragen wurden.

Unerwähnt, weil im Einzelnen aus Platzgründen nicht aufzulisten, aber nicht minder kostenintensiv, ist die Vielzahl mittlere und kleinerer Investitionen bei der Umgestaltung von Räumen für neue Verwendungszwecke zur Straffung der Institutsstruktur. Dabei wurden Elektroinstallation erneuert oder ergänzt, Beleuchtungen verbessert und Bodensanierungen und Renovierungen durchgeführt.

So sind mit Abschluss des Jahres 2006 von Beginn der Neubesetzung an von Seiten der Hochschule ca. 300 T€ in die Gebäudesanierung investiert worden. Der finanzielle Einsatz des BLB beträgt im gleichen Zeitraum 788 T€, sodass eine Gesamtsumme



von über einer Million EURO für das Gebäudeinnere erreicht ist. Nicht unerheblich für unser Institut ist auch der eigene Kostenbeitrag zur Optimierung und Modernisierung der Institutsnutzfläche durch die Erneuerung der Möblierung, Modifizierung von Schaukästen, Verbesserung der Beleuchtungssituation und der Präsentationsmittel in den Fluren. Der Rückblick auf die vergangenen Jahre zeigt, dass zwar das Ziel, die Grundsanie- rung des Gebäudes, nicht erreicht ist. Dank des Einsatzes und des guten Willens al- ler Beteiligten, aber ein sehenswerter Fort- schritt erreicht wurde.

Wir werden wie bisher versuchen, alle Möglichkeiten auszuschöpfen, um das alte, denkmalgeschützte Gebäude baldmöglichst komplett saniert in neuem Glanz erscheinen zu lassen.

Kontakt

Walter Taeter
Betriebsleiter
taeter@ifht.rwth-aachen.de
++49/(0)241/80-94935

e-studentday und VDE-Kongress 2006 in Aachen

Unter dem Motto "Innovations for Europe" trafen sich vom 23. bis 25. Oktober 2006 Experten und Entscheider der Elektro- und IT-Branche in Aachen zum VDE-Kongress. Die Schwerpunktthemen des Kongresses waren Kommunikation, Mobilität, Energie, Life Science und Automation. Den Auftakt zu diesem Technologiegipfel bildete am Sonntag, den 22. Oktober 2006, die Abendveranstaltung im Rahmen des e-studentdays, der mit einer herzlichen Begrüßung und einem guten Buffet in der Aula des Hauptgebäudes sowie einer anschließenden Party in unserer Hochspannungshalle einen vielversprechenden Kongress erwarten ließ.

Am Sonntagabend, den 22. Oktober 2006, startete im Rahmen des VDE-Kongresses der e-studentday mit der Begrüßung der Studierenden durch den Rektor der RWTH Aachen Prof. Dr. Burkhardt Rauhut in der klassischen Atmosphäre der Aula des Hauptgebäudes.

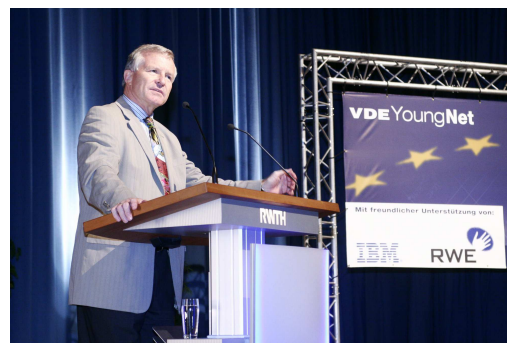


Eingang zur Aula des Hauptgebäudes

Nach einem herzhaften Buffet leitete der Abend zur Party in unserer Hochspannungs-Halle über, auf der sich über 400 Teilnehmer amüsierten.

Zur Eröffnung des e-studentdays trafen sich die Studierenden am nächsten Morgen im Eurogress wieder. Nach der Begrüßung der Teilnehmer durch die e-studentday-

Koordinatoren Melanie Münk und Tobias Küter wurde die Arbeit des Teams in den letzten Jahren sowie das Schülerforum, das YoungNet und der Wettbewerb Invent a Chip vorgestellt. Festredner Dr. Joachim Schneider, Vorstandsmitglied der deutschen ABB AG, sprach über die Zukunft der Ingenieure. "Die Leistung von Ingenieuren war, ist und wird unverzichtbar bleiben für die Weiterentwicklung unserer Gesellschaften - auch unter dem Gesichtspunkt einer Ressourcen schonenden und umweltverträglichen Entwicklung."



Begrüßung des Rektors Prof. Rauhut

Unter dem Motto "Wissen macht Karriere" gliederte sich der e-studentday in die Programmpunkte "Interaktiver Wissenstransfer," "Karriereportal" und "Global Networking." Des Weiteren zählte die Firmenkontaktbörse mit über 20 renommierten Unternehmen zu den Höhepunkten.



e-student-Party in unserer Hochspannungshalle

Die zahlreichen Fachvorträge und Podiumsdiskussionen während des e-studentdays boten den rund 600 Studierenden genug Potential um sich über neue Technologien zu informieren und um offene Fragen zu klären.

Der eigentliche VDE-Kongress unter dem Motto "Innovations for Europe" startete feierlich am Montagabend mit der offiziellen Kongresseröffnung im Europasaal des Eu-

rogress mit weit über 1200 Teilnehmern. Die neue europäische Strategie für Innovationen stellte der Vizepräsident der Europäischen Kommission, Günter Verheugen, vor: "Sie soll zum Leitmotiv der europäischen Politik der nächsten Jahre werden." Die Innovationsstrategie und das 7. europäische Forschungsrahmenprogramm, das von 2007 bis 2013 etwa 50,5 Milliarden Euro vorsieht, definieren innovative Zukunftsmärkte und sollen dem Mittelstand den Zugang zu Fördermitteln erleichtern. "Europa muss an die Weltspitze geführt werden. Dazu gehört eine Partnerschaft von Wirtschaft und Politik."

Die stilvolle, mit Jazz-Musik untermalte Eröffnung des Kongresses mit weiteren Festrednern, wie Thomas Rachel, Parlamentarischer Staatssekretär im Forschungsmministerium, sowie Andreas Pinkwart, Forschungsminister in Nordrhein-Westfalen, ließen zwei viel versprechende Kongress-Tage erwarten.



Festansprache von Dr. Joachim Schneider (ABB AG) auf dem e-studentday

Fachliche Schwerpunkte im Bereich der Energietechnik waren die Herausforderungen für neue Erzeugungs- und Netzstrukturen. Ziel der drei Fachtagungen der Energietechnischen Gesellschaft (ETG), die unter der wissenschaftlichen Leitung von Prof. Schnettler standen, war es, die Herausforderungen und Lösungsansätze für zukünftige Energieversorgungssysteme darzustellen.

Autor: Stefan Federlein

5 vor 12 - Die RWTH Wissenschaftsnacht

Am 10. November 2006 eröffnete die RWTH der breiten Öffentlichkeit eine Nacht lang den Zugang zur Wissenschaft. 20 Programmpunkte aus Wissenschaft und Unterhaltung bot die RWTH den rund 5000 Besuchern. Das IFHT freute sich sehr über das große Interesse an den Vorführungen „Echte Blitze“.

Auch im Jahr 2006 lud die Aachener Hochschule zu der Wissenschaftsnacht ein. Das Programm reichte von 19 Uhr bis nach Mitternacht und wartete unter anderem mit Vorträgen und Vorführungen aus den Bereichen Physik, Bauingenieurwesen, Maschinenbau, Informatik und Elektrotechnik auf. Neben den wissenschaftlichen Themen wurden auch weitere Highlights, wie ein Kabarett, die BigBand der RWTH und ein kleines Konzert, geboten.



Abb. 1: Das Kármán Auditorium während der Wissenschaftsnacht

Das Institut für Hochspannungstechnik präsentierte im Rahmen eines 25-minütigen Hochspannungs-Programmes das Ionenrad (welches sich aufgrund von Entladungen an den Spitzen drehte), Gleitentladungen an der Glasplatte (siehe Abb. 2) und Überschlüsse einer Spitze-Spitze-Anordnung, Kugel-Kugel-Anordnung und eines 110 kV-

Stützisolators.

Bei Gruppengrößen von ca. 40 Personen wurden ab 19.30 Uhr bis nach Mitternacht mehr als 10 Vorführungen durchgeführt, so dass auch alle Interessenten an dieser Veranstaltung teilnehmen konnten.

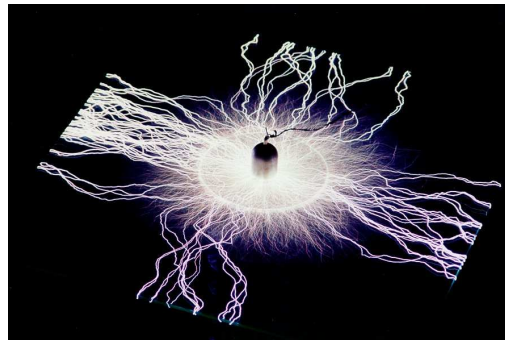


Abb. 2: Gleitentladungen auf einer Glasplatte

Trotz der langen Wartezeiten von teilweise mehr als einer halben Stunde waren die Gäste durchweg zufrieden. Insbesondere konnte den Nicht-Fachleuten und den kleinen Besuchern nachhaltige Eindrücke übermittelt werden. Technik kann auch spannend sein.

Kontakt

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

Die Wahl zum Hektiker 2006 am 11.11.

Ganz im Sinne der rheinländischen karnevalistischen Gepflogenheiten, wird zu Beginn der Karnevalszeit am 11.11. eines jeden Jahres am IFHT ein ganz besonderer Preis verliehen: Der Mann mit der ruhigen Kugel. Dieser Wanderpokal wird dem im vergangenen Jahr hektischsten Kollegen im Rahmen einer feierlichen Abendveranstaltung vom jeweils amtierenden Hektiker übergeben. In diesem Jahr fand diese ehrwürdige Veranstaltung zum 30. Mal statt.

Vorgeschichte

Der Ursprung des Hochwissenschaftlichen Kolloquiums, wie der terminus technicus dieser karnevalistischen Abendveranstaltung lautet, liegt im Jahre 1977. Zu jener Zeit beschlossen einige der damaligen Assistenten des IFHT, dass ein allzu hektisches Betragen nicht ungestraft geduldet werden kann. Sie definierten eine Skulptur als den Mann mit der ruhigen Kugel und ließen diesen mit einem wuchtigen Sockel versehen. Seitdem wird jedes Jahr in einer feierlichen Zeremonie der Hektiker des Jahres gekürt und sein Name im Sockel verewigt. Aus arbeitstechnischen Gründen findet das Hochwissenschaftliche Kolloquium jeweils am ersten Samstag nach dem 11.11. statt.



Der Mann mit der ruhigen Kugel

Die Wahlwerbung

Einige Tage vor dem großen Ereignis tauchen jedes Jahr im IFHT merkwürdige Wahlplakate auf: Die Kandidaten für das Amt des neuen Hektikers beginnen in einem harten Wahlkampf sich für das Amt zu profilieren. Dabei werden häufig Szenen aus dem vergangenen Jahr, in dem der Kandidat ein besonders hektisches Verhalten aufwies, dokumentiert.



Wahlwerbung

Die Entscheidung, wer das Amt des neuen Hektikers bekleiden darf, findet am 11.11., um 11.11. im Büro des amtierenden Hektikers statt. Unnötig zu erwähnen, dass hierbei 111 Berliner gereicht werden.

Die Wahl

Jeder Institusangehörige ist stimmberechtigt und darf sein Votum für den neuen Hektiker abgeben. Damit die Objektivität der Wahl gewährleistet ist, obliegt die Durchführung und Auswertung der Wahl allein dem amtierenden Hektiker - bei kei-

nem der übrigen Institusangehörigen könnte eine hinreichende Neutralität erwartet werden.

Die Briefwahl

Statistisch gesehen fällt der 11.11. eines Jahres alle paar Jahre auf einen Samstag. In dieser besonderen Situation findet die Wahl am gleichen Tag wie das Hochwissenschaftliche Kolloquium statt, oder es wird im Vorfeld eine Briefwahl durchgeführt. Die Jubiläumsveranstaltung im Jahre 2006 wies diese besondere Konstellation auf und es wurde eine Briefwahl durchgeführt. Eine Briefwahl birgt das besonders hohe Risiko einer Wahlmanipulation, die in jedem Jahr versucht wird, und eine besondere Strategie der Sicherung erfordert. So wurden in diesem Jahr absolut fälschungssichere Wahlunterlagen herausgegeben, die einige der potentiellen Kandidaten aber zu rabiaten Methoden animierten, bis hin zur Entwendung von Büromöbeln, in denen die Wahlurne vermutet wurde.

Die Welt ist nicht genug

Unter dem Motto: „30 Jahre Hektik - die Welt ist nicht genug“ begann somit am

11.11. pünktlich um 18.88 Uhr das diesjährige Hochwissenschaftliche Kolloquium.



Hochwissenschaftliches Kolloquium

Die Veranstaltung, die wie in jedem Jahr durch Darbietungen der Assistenten geprägt wurde, gipfelte in der Bekanntgabe des neugewählten Hektikers. Die anschließende Apres-Hek-Party bildete den gemütlichen und langandauernden Ausklang.

Autor: Bernhard Heil

Betriebsausflug am 13.10.2006 zur Burg Eltz

In diesem Jahr ging der Betriebsausflug zur Mosel. In dem malerischen Eck am Rande der Eifel wurden das Weltkulturerbe Burg Eltz an dem Elzbach und der Ort Moselkern besucht. Die morgendliche Führung durch die Burg brachte einen Einblick in das soziale und kulturelle Leben der 800 Jahre langen, meist friedlichen Burrgeschichte. Nach einem traditionellen Imbiss im Burghof ging es weiter durch den herbstlichen Wald entlang des Elzbachs in Richtung Mosel. Im Ort Moselkern wartete auf uns schon eine Weinprobe aus der Region, danach ging es zurück nach Aachen. Anlässlich des Geburtstags von Dr. Heil fand dann anschließend ein Grillabend statt, wo die meisten Kollegen im Hofgarten des IFHT einen netten Ausklang des Tages gemütlich genießen konnten.

Burg Eltz

Am Freitag, den 13. Oktober, um 07:00 Uhr trafen wir uns vor dem Seminargebäude der RWTH, um frühzeitig in Richtung Burg Eltz aufbrechen zu können. Auf der Hinfahrt blieben wir von Staus auf der Autobahn verschont und stiegen so schon um 09:00 am Parkplatz in der Nähe der Burg aus. Beim Abstieg in das Tal eröffnete sich uns ein spektakulärer Blick auf die Burg.



Burg Eltz

Auch wenn der Frühnebel den Blick etwas trübte, verstärkte er damit noch die Schönheit der Burglage. Den Shuttlebus ignorierend und dadurch ausreichend den Hangweg und die Landschaft genießend, trafen wir dann in der Burg ein. Die Burg Eltz,

eine der schönsten Burgen in Deutschland, wurde etwa 1157 im Tal des Elzbachs auf einem Felskopf erbaut. Die Burg, die nie zerstört wurde, und früher auf dem 500-DM Schein abgebildet war, entspricht zwar der romantischen Vorstellung einer mittelalterlichen Burg, ist aber vor allem in ihrer Baugeschichte nicht unbedingt typisch.



Burgeingang

Die Burg befindet sich seit über 800 Jahren im Besitz der Familie Eltz. Im Jahre 1268 wurde die Burg unter drei Nachkommen aufgeteilt und von nun an als Gemeinschaftserbe weitergeführt. Jede Linie baute im Laufe der Jahrhunderte im engen Burgbereich ihr eigenes Haus aus. So kam es zu der dichten Bebauung mit einer Vielzahl

von Türmchen und Erker. Die einzige Belagerung der Burg geschah in der sogenannten Eltzer Fehde (1331-1336). Im Auftrag des Trierer Erzbischofs Balduin von Luxemburg entstand dann die der Burg Eltz benachbarte Belagerungsburg Trutzeltz, deren Ruinen wir auf dem Weg vom Parkplatz begegnet sind. Im Jahre 1354 erlangte der kurtrierische Landesherr schließlich die kaiserliche Belehnung mit der Burg Eltz. Seit dieser Zeit führt man in der Burg ein eher friedliches und komfortables Leben.



Weinprobe

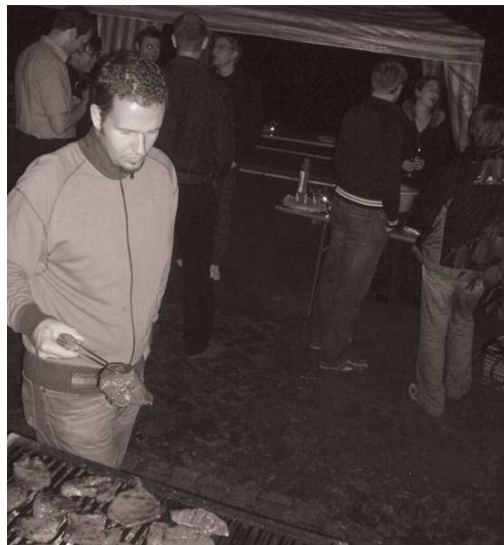
Nach der Exkursion durch zahlreiche Wohn- und Nutzräume wurde eine Pause eingelegt. Während ein Teil der Gruppe die Schatzkammer besichtigte, haben die Anderen sich mit Federweißer und Zwiebelkuchen im Burgimbiss gestärkt.

Moselkern

Nach dem schönen Waldweg durch den herbstlichen Wald am Ufer des Elzbachs erreichten wir den Ort Moselkern. In der Weinkellerei Weckbecker wurden für uns bereits einige Platten mit regionalen Spezialitäten serviert. Eine Weinprobe brachte Einblick in der Weinwelt der Region. Je nach Geschmack wurden verschiedene Weine ausgesucht und eine Großbestellung beim Weingut aufgegeben, damit auch im Laufe der nächsten Monate reichlich zu trinken gibt. Mit dem Wein beladenen Bus wurde anschließend die Rückreise angetreten.

Ausklang

Für den Abend hat Dr. Heil die Mitarbeiter anlässlich seines Geburtstags zum Spätherbstgrillen eingeladen. Die Mehrheit der Mitarbeiter traf sich daher am Abend auf der Wiese hinter dem Rogowski-Gebäude, um dem Geburtstagskind zu gratulieren und zusammen zu feiern.



Grillen im „Hofgarten“

Für Speis und Trank wurde reichlich gesorgt, so dass in gemütlicher Runde bis spät abends gefeiert wurde.



Geburtstagskuchen

Autor: Andrey Mashkin

Besichtigung der Schaltanlage Niederrhein

Die Arbeitsgruppe Asset Management hat Ende September 2006 in Kooperation mit der RWE Rhein-Ruhr Netzservice GmbH die Schaltanlage Niederrhein besichtigt. Dabei standen der Gruppe fachkundige RWE-Mitarbeiter zur Seite, die technische Details erklärt und etliche Fragen beantwortet haben. Dafür danken wir den Herren von RWE ganz herzlich.

Am Mittwoch den 20. September 2006 startete die Arbeitsgruppe Asset Management (Isabel Coenen, Stefan Federlein und Michael Kippen) am frühen Morgen Richtung Wesel zur RWE Rhein-Ruhr Netzservice GmbH, um eine Schaltanlage zu besichtigen.



Abb. 1: 380-kV-Felder der HS-Schaltanlage Niederrhein (Wesel)

Die Schaltanlage Niederrhein (Abbildung 1 zeigt die 380-kV-Felder) liegt in der Nähe von Wesel und ist eine der bedeutendsten und größten Anlagen der RWE. In der Anlage sind alle Spannungsebenen von 380 kV über 220 kV bis zu 110 kV vertreten. Sie besteht aus 160 Feldern mit ca. 70 Leistungsschaltern. RWE-Mitarbeiter führten uns über die gesamte Anlage, erklärten uns anschaulich im Feld die verwendeten Betriebsmittel und deren Komponenten. Die große Bandbreite an unterschiedlichen Ausführungen von zum Beispiel Leistungsschaltern machte die Unterschiede verschiedener Isoliertechniken und Antriebstechniken deutlich. Die verschiedenen Generationen der dort eingesetzten Leistungsschalter waren bemerkenswert. Abbildung 2 zeigt beispielsweise einen alten ölisolierten 380-kV-Leistungsschalter.

Er besitzt acht Schaltstrecken und ist sehr wartungsarm.

Eine Besonderheit der Anlage ist, dass dort auch Betriebsmittel gelagert beziehungsweise instand gesetzt werden. Dies ermöglicht somit eine detailliertere Betrachtung der verschiedenen Funktionen und liefert damit ein besseres Verständnis für die Technik. Als Teil der Anlage wurden auch die Anlagenwarte bzw. Leistelle besichtigt, in der die Betriebszustände der kompletten Anlage überwacht und gesteuert werden. Dort lassen sich zusätzlich über ein neu eingeführtes GPS-System die Positionen aller Servicefahrzeuge im gesamten Netzbezirk und ihre Aufträge abrufen.



Abb. 2: Ölisolierter 380-kV-Leistungsschalter mit 8 Schaltstrecken

Die darüberhinaus vorhandene Transformatorwerkstatt ermöglicht größere Instandhaltungsmaßnahmen an kleineren Transformatoren, die somit direkt vor Ort durchgeführt werden können. Wir bedanken uns bei den RWE-Mitarbeitern für die beeindruckende Führung durch diese interessante Schaltanlage.

Text: Michael Kippen, Stefan Federlein;
Fotos: Oliver Seibert

Pfingst-Exkursion nach Berlin & Hannover

Nachdem die Exkursion des vorigen Jahres den Süden Deutschlands zum Ziel hatte, führte die Exkursion in der Pfingstwoche vom 5. Juni bis 9. Juni 2006 die Studenten und Assistenten des IFHT direkt nach Berlin. Die Besichtigung der Siemensstadt in Berlin-Spandau sowie die Besichtigung der Netzleistung und der Schaltanlage der Vattenfall Europe Transmission waren mit Sicherheit die technischen Highlights. Ein kulturelles Rahmenprogramm mit Besichtigung des Reichstags und geselligen Abenden rundeten die Exkursion ab. Die Rückfahrt über Hannover führte uns zusätzlich zum Kabelwerk von Nexans. Ein abschließender Ausklang am Institut bei Fußball und Grillen rundete die Exkursion ab und machte sie zu einem unvergesslichen Erlebnis.

Anreise nach Berlin

Am Pfingstmontag um 7:45 Uhr trafen sich die zahlreichen Exkursionsteilnehmer in der Wüllnerstraße zur Busabfahrt nach Berlin kurz vor der Fußballweltmeisterschaft. Pünktlich um 8:00 Uhr startete der Bus mit 9 Assistenten, 39 Studierende, mit Prof. Schnettler und unserem sehr freundlichem Busfahrer Richtung Hauptstadt. In Berlin angekommen bezogen wir unser Hotel im Kronprinzessinnenweg in der Nähe des Grunewaldes etwa 18 Kilometer nordwestlich von Berlin-Mitte. Der benachbarte Wald mit anliegendem See (und Prof. Schnettler) luden am späten Nachmittag zum Lauftraining ein, an dem sich auch etwa 20 Studenten beteiligten.



Gruppenbild vor dem vom Fußball verdeckten Brandenburger Tor

Andere nutzen schon die günstige An-

bindung mit der S-Bahn zur Erkundung der Berliner Innenstadt. Am Abend trafen wir uns nach einem Spaziergang durch das Brandenburger Tor zum gemeinsamen Abendessen in einem urigen Restaurant in der Nähe der Friedrichstraße und der Spree.

Besichtigung der Siemens-Stadt in Berlin-Spandau

Am Dienstag morgen brachen wir um 8.00 Uhr nach einem köstlichem Frühstücksbuffet Richtung Berlin-Spandau zur Siemensstadt auf. Die herzliche Begrüßung im Informationszentrum im Siemens Schaltwerk leitet anschließend zu einer beeindruckenden Werksbesichtigung über.



Begrüßung im Informationszentrum des Siemens Schaltwerks

Die freundlichen Führer und Führerinnen informierten die Kleingruppen über verschiedene Freiluft-Schaltgeräte, über Gasisolierte Schaltanlagen bis hin zur

Siemens Gasisolierten Leitung (GIL).



Kleingruppenführung im Siemenswerk Berlin-Spandau

Ein außergewöhnliches Mittagessen im Siemens-Gäste-Casino gab dem ausgewogenen Tagesprogramm eine besondere Note. Durch eine anschließende Präsentation von Entwicklung und Produktion bei Siemens - verbunden mit einer lebhaften Diskussion moderiert durch verschiedene Abteilungseiter des Siemenswerks - konnten sich die Teilnehmer ausführlicher über das Arbeitsfeld bei Siemens informieren.



Gemütlicher Ausklang mit Prof. Schnettler im STÄV (siehe Text)

Auf Einladung von Prof. Schnettler anlässlich seines Geburtstages fanden wir uns an diesem Abend im Restaurant „Linden Life“ unter den Linden ein. Nach erneut köstlichem Essen zogen noch viele Teil-

nehmer weiter zur „Ständigen Vertretung Rheinland“ kurz STÄV um dort den Abend bei einem Kölsch ausklingen zu lassen.

Besichtigung des Reichstages

Um auch dem großen kulturellen Angebot in Berlin gerecht zu werden, stand am Mittwoch eine Reichstagbesichtigung auf dem Programm. Dieser Tag war eine angenehme Abwechslung auf der sonst überwiegend technisch geprägten Exkursion.



Einer der vier Türme des Reichstages



Alle Exkursionsteilnehmer vor dem Kanzleramt

Die zweistündige Führung durch das von Norman Foster umgebaute Reichstagsgebäude informierte die Teilnehmer über Leben und Arbeiten im Bundestag sowie über die Architektur des Gebäudes bis hin zu den zahlreich ausgestellten Kunstwerken. Außerdem bot dieser sonnenreiche Tag zahlreiche Möglichkeiten für Fotos in der mit 3,5 Millionen Einwohnern größten Stadt Deutschlands.

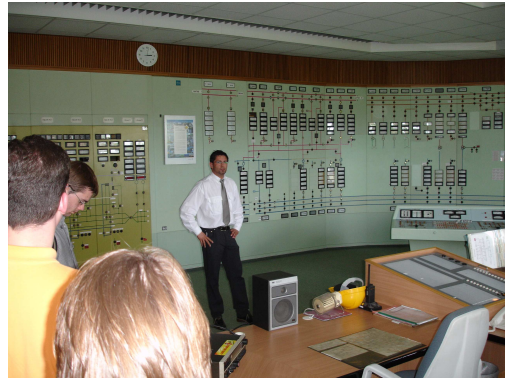
Den Nachmittag verbrachten wir mit Besuchen von Museen, historischen Denkmälern und mit der Besichtigung der unterschiedlichen Stadtteile von Berlin-Mitte.



Das Auditorium im Bundestag

Besuch bei der Vattenfall Europe Transmission

Am Donnerstag des nächsten Morgens um 8:00 Uhr starteten wir erneut nach einem guten Frühstück mit dem Bus zur Hauptverwaltung der Vattenfall Europe Transmission. Nach einer freundlichen Begrüßung und einem Einführungsvortrag ging es weiter zur zentralen Steuerstelle, die wir in drei Gruppen besichtigen konnten. Hier wurden uns die Aufgaben einer heutigen Leitstelle anschaulich näher gebracht. Gestärkt durch ein Kantinenessen chauffierte uns der Busfahrer zur etwas weiter entfernten Umspannanlage in Berlin-Neuenhagen. Diese Anlage ist besonders beeindruckend, da hier Hochspannungs-Geräte aller Generationen in Betrieb sind. So konnten wir ausgehend von einer alten Leitstelle mit analogen Steuergeräten über Leistungsschalter mit Öl- und Druckluft-Technologie bis hin zu aktuellen SF₆-Selbstblasschaltern und modernen Leistungstransformatoren verschiedene Betriebsmittel besichtigen. Ein abschließendes Gruppenbild bei wiederum traumhaftem Wetter rundete das offizielle Tagesprogramm ab.



Besuch einer alten Leitstelle in einem Umspannwerk der Vattenfall



Gruppenbild nach der Besichtigung der großen Schaltanlage in Berlin-Neuenhagen

Rückfahrt über Hannover mit Besichtigung der Nexans Kabelwerke

Auch wenn die meisten Teilnehmer den letzten Abend in Berlin ausgiebig genossen haben, wurde an der Abfahrtszeit nach Hannover am nächsten Morgen festgehalten: 5:00 Uhr. Bei Nexans in Hannover angekommen wurden wir mit einem zweiten Frühstück verwöhnt. Der Lehrbeauftragte unseres Instituts, Herr Dr. Meurer, begrüßte uns herzlich und leitete anschließend zu einer Unternehmenspräsentation über. Die Produktion sowie die Prüfung der Nexans Hochspannungskabel sind uns bei einer ausführlichen Werksbesichtigung vermittelt worden. Beim gemeinsamen Mittagessen

im Gäste-Casino des Nexans-Werks konnten wir uns am reichhaltigen Pasta-Buffer für die anschließende Rückfahrt nach Aachen stärken.

Ausklang der Exkursion am Institut mit Fußball und Grillen



Die Organisatoren Christoph Kahlen (l.) und Stefan Federlein (r.) vor dem Kanzleramt

Obwohl die Exkursion mit der Ankunft des Busses in Aachen offiziell beendet war, erwartete uns am Institut ein gut belegter Grill, kalte Getränke und eine Leinwand zur Übertragung des ersten Deutschland-Spiels der WM 2006, zu dem wir pünktlich zurück gekehrt sind. Bei zahlreichen Gesprächen ließen wir die Exkursion Revue passieren und genossen das schöne Wetter beim BBQ. Es war eine tolle Exkursion mit einem schönen Ausklang - Deutschland gewann das erste Spiel gegen Costa Rica mit 4:2.

Organisatoren

Dipl.-Ing. Stefan Federlein
federlein@ifht.rwth-aachen.de
+49 (0)241 / 80-94959

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