

# Institut für Hochspannungstechnik mit Versuchsanstalt

Das Institut für Hochspannungstechnik ging aus dem Institut für Bau und Betrieb elektrischer Anlagen, Lehr-auftrag Hochspannungstechnik von o.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. DDR. Günther Oberdorfer hervor. 1971, mit der Einsetzung von Dipl.-Ing. Dr. Alfred Leschanz zum o.Universitätsprofessor für Hochspannungstechnik begann dort auch die wissenschaftliche Tätigkeit. O.Univ.-Prof. DDR. G. Oberdorfer gründete auch 1956 die Versuchsanstalt für Hochspannungstechnik (VAH), die er bis 1971 leitete. Danach wurde die Versuchsanstalt dem Institut für Hochspannungstechnik in Personal- und Geräteunion angegliedert, wobei ab diesem Zeitpunkt der Vorstand des Institutes auch Leiter der Versuchsanstalt war. Unter o.Univ.-Prof. Dr. A. Leschanz entwickelte sich die Hochspannungstechnik zum Schwerpunktzentrum in diesem Bereich für Österreich. Aufgrund der vielfältigen Aufgaben erfolgte damals schon eine nach Fachbereichen gegliederte Organisation. Nach dem allzu frühen Tod im Jahre 1979 von o.Univ.-Prof. Dr. A. Leschanz übernahm der damalige Dekan o.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Stefan Schuy interimistisch die Leitung des Institutes bis Frühjahr 1982. Im März 1982 erfolgte dann die Berufung von Dipl.-Ing. Dr. Hubert Gsodam zum o.Univ.-Prof. für Hochspannungstechnik. O.Univ.-Prof. Dr. H. Gsodam versuchte den Aufgabenbereich des Institutes durch weitere Fachgebiete wie elektrostatische Anwendungen, Qualitätsmanagement, Wirtschaft und dergleichen mehr zu erweitern. 1990 emeritierte o.Univ.-Prof. Dr. H. Gsodam und die Leitung des Institutes und der Versuchsanstalt übernahm Ass.Prof. Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Michael Muhr, der im März 1996 zum o.Univ.-Prof. für Hochspannungstechnik berufen wurde. Aufgrund der weiter wachsenden Aufgaben wurden die Lehr- und Forschungsbereiche neu gegliedert, und zwar wie folgt in zwei Hauptgebiete mit entsprechenden Untergruppen, um den derzeitigen Anforderungen in Lehre, Forschung und Technik gerecht zu werden:

Hochspannungstechnologie: Hochspannungstechnik, Isolationskoordination und EMV; Hochspannungsgeräte und Systeme; Werkstoffe, Technologie und Umwelttechnik; Isolierstoffe und Isolierungssysteme; Überspannungen, Mess- und Prüftechnik; Automatisierung und Geräteentwicklung

Energie-Wirtschaft-Umwelt: Elektrotechnik - Wirtschaft; Elektrizitätswirtschaft; Qualitäts-, Projekt- und Umweltmanagement; Energieinnovation

Zudem wurde die Versuchsanstalt durch eine durchgehende Modernisierung der Einrichtungen und Geräte auf einen hohen technischen Standard gebracht. Auch wird die Versuchsanstalt nach erfolgter Auditierung in Kürze akkreditiert.

## Energieinnovation

Die Energiewirtschaft befindet sich derzeit global in einer Phase von starken Änderungen und einer vollständigen Neuorientierung. Im Einflussbereich der Europäischen Gemeinschaft verstärkt sich dieser Trend noch unter dem Einfluss der schrittweisen Liberalisierung des Energie-Binnenmarktes. Dieser Deregulierung und Privatisierung der Energieversorgung steht aber die zunehmend höher werdende Bedeutung soziologischer sowie ökologischer Faktoren gegenüber. Speziell im Hinblick auf die anthropogenen Treibhausgase und durch die Übernahme internationaler Verpflichtungen zum Umweltschutz (Umweltschutzkonferenz in Rio de Janeiro, Klimakonferenz in Kyoto) ergibt sich die steigende Bedeutung umweltfreundlicher regenerativer Technologien. Gerade die fossilen Brennstoffe – in der Vergangenheit ein Garant für die kostengünstige und sichere Energieversorgung – gelten heute als wesentliche Einflussgrößen für mögliche globale Klimaveränderung. Daher müssen sich Technologien für eine zukunftsorientierte und effiziente Energieversorgung nicht nur an technischen und ökonomischen, sondern vermehrt auch an ökologischen Anforderungen orientieren. Dabei werden gerade in Zukunft elektrische Energieversorgungssysteme eine zentrale Stellung einnehmen.

Im Rahmen eines internationalen EU-Forschungsprojektes wird dieser Problemkreis am Institut für Hochspannungstechnik von der Arbeitsgruppe Energieinnovation in enger Kooperation mit der Österreichischen Elektrizitätswirtschafts-AG, dem Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme Freiburg, der Gerhard-Mercator-Universität Duisburg sowie der Firma Noell bearbeitet. Der Hauptschwerpunkt liegt derzeit bei der elektrochemischen Stromerzeugung mittels Brennstoffzellen. Besonderen Stellenwert beim Umstieg auf emissionsarme und hocheffiziente Formen der Stromerzeugung hat die Auswahl des geeigneten Brennstoffes. Der durch den Einsatz von alternativen Brennstoffen wie Biomasse, Wasserstoff oder Methanol bedingte Strukturwandel ist gleichzeitig auch ein Schritt in Richtung auf die Energieversorgung durch regenerative Energiequellen. Die Komplexität der Energieproblematik in diesem Umfeld

bedarf aber einer interdisziplinären und systemorientierten Denkweise, die man derzeit unter dem Begriff Energieinnovation zusammenfasst.

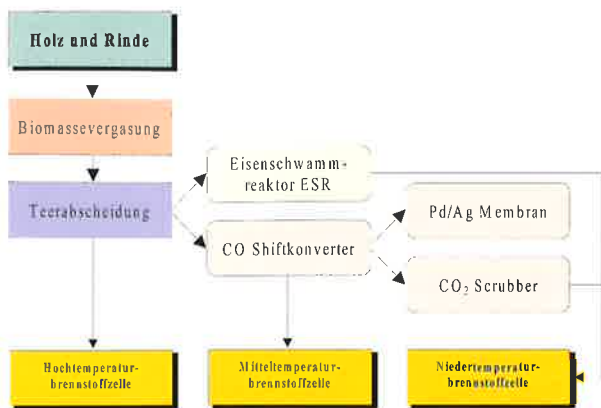


Abb.1: EU-Forschungsprojekt "Solid Biomass Gasification for Fuel Cells"

## Entwicklungsuntersuchungen und Abnahmetests an Bauteilen für Höchstspannungstransformatoren

In Zusammenarbeit mit einem Herstellerwerk für Isolierstoffe und Isolierungskomponenten aus Pressboard werden seit Jahren Entwicklungsuntersuchungen und Abnahmeprüfungen an Bauteilen für Höchstspannungstransformatoren durchgeführt. Die Untersuchungen finden in einem Prüfgefäß von 15 m³ Inhalt unter Isolieröl mit Verwendung einer Weichpapier-Kondensatordurchführung von 1100 kV Betriebsspannung in der großen Hochspannungshalle des Institutes statt.

Die sehr aufwendigen Vorbereitungsarbeiten zu den Tests umfassen dabei Montage, Einbau, Trocknung, Isolierölaufbereitung und Prüflingsimprägnierung unter Vakuum bei praxisnahen Bedingungen mit Hilfe der institutseigenen Isolieröl- und Vakuumanlage, sowie die individuelle Adaptierung des Prüflabors an die Gegebenheiten des Prüflings. Während nämlich das eigentliche Testobjekt, das zu prüfende Bauteil, eine Ausdehnung von weniger als 1 m besitzt, hat der schließlich den Untersuchungen zu unterziehende Prüfling eine Höhe von mehr als 15 m (siehe Abb.2).

Die Prüfungen gliedern sich in Untersuchungen mit den verschiedenen Hochspannungsarten, wobei Wechselspannungen von 1100 kV (mit Teilentladungsmessungen) und Blitzstoßspannungen von 2700 kV durchaus erreicht werden können. Dabei gelangen neue Prüfprogramme zur Anwendung, welche Bestimmungen mehrerer internationaler Vorschriften sowie diverse Firmenvorschläge einschließen und breit abstützen. Durch die Ausführung von Intervall- und Stundentests bei Wechselspannung

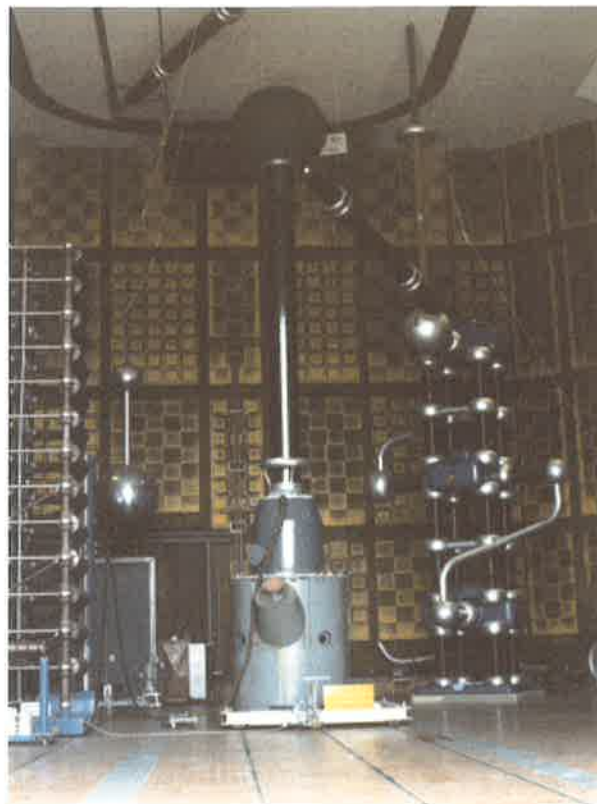


Abb.2: Ölprüfgefäß mit 1100 kV-Prüfdurchführung

und die zusätzliche Maßnahme, die offiziellen Werte der Prüfspannungen noch um einen Faktor beträchtlich zu erhöhen, soll eine breite Akzeptanz bei den Anwendern gefunden werden, da es damit gelingt, die Ausfallwahrscheinlichkeit auch bei kleinsten Prüflosen dieser sehr teuren Prüflinge und Tests auf sehr kleine Werte abzusenken. Auch wird neuerdings versucht, Teilentladungsmessungen mit einem digitalen Messgerät, welches die Messergebnisse in Form eines „Fingerprints“ darstellt, zur Gewinnung von Erfahrungen durchzuführen. Durch die Verwendung einer Vorrichtung zur schnellen Abschaltung der Prüfspannung innerhalb einer Halbwelle im Durchschlagsfall wird die Isolierölbelastung sowie die Beschädigung der wertvollen Prüflinge minimiert.

## Hochspannungstechnik

Die zentrale Aufgabe der Hochspannungstechnik, als ein Teilgebiet der Elektrotechnik, ist die sichere Beherrschung hoher elektrischer Feldstärken und Spannungen, wobei eine zuverlässige Potentialtrennung erforderlich ist. Die elektrische Isoliertechnik ist die Lehre von der Potentialtrennung und demnach ein wichtiger Bereich der Hochspannungstechnik. Von der Mikroelektronik bis zur Höchstspannungstechnik ist die Aufgabe der Potentialtrennung zu erfüllen. Die Hochspannungstechnik ist heute eine Schlüsseltechnologie für ein breites Spektrum

technischer Anwendungen, die aus unserem Leben kaum mehr wegzudenken sind. So ermöglichen erst hohe elektrische Spannungen die Übertragung großer elektrischer Leistungen mit verhältnismäßig geringen Verlusten. Die Minimierung der Verluste schont Ressourcen und verringert die Emissionen. Durch Hoch- und Höchstspannungsnetze können sowohl abgelegene Wasserkräfte als auch das schwankende Windenergieangebot optimal in den elektrischen Energieverbund einbezogen werden. Auch der überregionale elektrische Energieaustausch ist nur mit Hochspannungsnetzen möglich. Damit ist die Hochspannungstechnik Voraussetzung für die sichere, wirtschaftliche und umweltschonende elektrische Energieversorgung. Diese ausreichende und zuverlässige elektrische Energieversorgung war eine wichtige Stütze unseres wirtschaftlichen Wiederaufbaues nach dem Zweiten Weltkrieg und ist nach wie vor eine wesentliche Säule unseres Lebensstandards.

Doch nicht nur in der elektrischen Energieversorgung sondern auch in anderen Bereichen der Technik spielt die Hochspannungstechnik eine große Rolle. So fällt die Entwicklung und Anwendung spezieller Mess- und Prüftechnik in den Aufgabenbereich der Hochspannungstechnik (beispielsweise Teilentladungsmesssysteme für Diagnosezwecke, wobei die Technische Diagnostik eine wichtige Aufgabe im Bereich der Instandhaltung elektrischer Betriebsmittel ist). Auch die Entwicklung neuer Isolierstoffe und Isolationssysteme sowie die Qualitätsverbesserung bestehender Anordnungen stellt einen wichtigen Arbeitsbereich der Hochspannungstechnik dar. So müssen für elektrochemische Verfahren Isolierungen mit hoher Beständigkeit gegenüber Säuren, Laugen und Lösungsmitteln für elektrothermische Verfahren solche für hohe Temperaturbelastung und in der Kryotechnik solche für Temperaturen in der Nähe des absoluten Nullpunktes entwickelt werden.

In der Medizintechnik zählen Röntgengeräte sowie Nierensteinertrümmerer zum Standardequipment. Aber auch Elektrofilter sowie moderne umweltschonende Beschichtungs- und Lackieranlagen werden mit Hochspannung betrieben. Damit liefert die Hochspannungstechnik einen Beitrag zur Verringerung der Umweltbelastung. Doch ist heutzutage bereits jeder einzelne von uns mit hochspannungstechnischen Anwendungen konfrontiert, man denke beispielsweise an Kopiergeräte oder Bildschirme bzw. Monitore. Allerdings muss man neben den vielfältigen Nutzen der Hochspannungstechnik auch auf ihre Probleme zu sprechen kommen. So seien an dieser Stelle die Beein-

flussung des Landschaftsbildes durch Hochspannungsfreileitungen oder die Probleme der elektromagnetischen Beeinflussung angeführt. Es erweist sich, wie bei vielen anderen derartig gelagerten Fällen, als vernünftig, eine genaue Abwägung der Vor- und Nachteile durchzuführen, um auch weiterhin den Nutzen der Hochspannungstechnik in Anspruch nehmen zu können und gleichzeitig eine möglichst geringe Beeinflussung bzw. Störung des Lebensraumes Erde zu bewirken.

### **Atmosphärische Überspannungen in Hochspannungssystemen**

In weiten Teilen Österreichs gehört die Entstehung von Gewitterwolken mit Blitz und Donner zu den jahreszeitlichen Selbstverständlichkeiten. Besonders der Alpenhauptkamm und der Süden Österreichs weisen eine hohe Gewitteraktivität mit einer Vielzahl von atmosphärischen Entladungen auf, die entweder zwischen den Wolken selbst oder als Entladungen zwischen Wolke und Erde mit Stromstärken bis einige hundert Kiloampere auftreten können.

Diese atmosphärischen Entladungen stellen auch für Hochspannungssysteme und deren Komponenten eine hohe Beanspruchung dar, da sie Überspannungen hervorrufen können, die über die elektrische Festigkeit der Betriebsmittel hinausgehen. Daher ist es Stand der Technik, einen geeigneten Überspannungsschutz in Verbindung mit einem optimierten Schutzkonzept für jedes Hochspannungssystem vorzusehen.

Im Bereich des modernen Überspannungsschutzes für Hochspannungssysteme spricht man von einem auf die Struktur des Systems abgestimmten und optimierten Schutzkonzept. Im Rahmen der Lehre und Forschung werden am Institut für Hochspannungstechnik der TU Graz seit Jahren Arbeiten auf diesem Gebiet betrieben, die durch numerische Berechnung über ein repräsentatives Ersatzschaltbild eine Analyse und Beurteilung der Spannungsbeanspruchungen an einzelnen Komponenten in Hochspannungsanlagen ermöglichen. Besonderes Augenmerk ist dabei auf die geometrischen Gegebenheiten, die Nachbildung der Überspannungsableiter mit ihren nichtlinearen Kennlinien und auf die Kopplung zu legen.

Als Inhalte sind vor allem die Erforschung transienter Spannungsverläufe in den Hochspannungssystemen und die damit verbundene Spannungsbeanspruchung an einzelnen Systemkomponenten zu sehen. Daraus resultieren nach Variation der Anlagenzusammenstellung, des Schaltzustandes oder der Entladungsart wissenschaftliche Erkenntnisse zur Festlegung der Ableiter-

anzahl und der Einbauorte, die letztlich zu einer gesamten Verbesserung und Optimierung des Überspannungsschutzes in Hochspannungssystemen führen.

### Elektrostatische Aufladungsphänomene in Hochspannungsleistungstransformatoren

Bei großen zwangsgekühlten Leistungstransformatoren können aufgrund von elektrostatischen Aufladungsvorgängen in den Kühlkanälen der Hochspannungswicklung schwerwiegende Isolationsschäden auftreten. Das Institut für Hochspannungstechnik ist mit dieser Problemstellung seit vielen Jahren federführend in internationale Forschungsaktivitäten eingebunden (CIGRE, EPRI, CISRO, LCIE). Die physikalischen Ursachen für die elektrostatische Aufladung zwischen festen und flüssigen Isolierungskomponenten beruht überwiegend auf komplexen intermolekularen Stoßprozessen. Speziell modifizierte polarografische Untersuchungsmethoden haben gezeigt, dass der Anteil der Diffusionsprozesse bei Isolieröl/Zellstoffisolierungen vernachlässigbar ist. Für die quantitative Bewertung der Aufladungsneigung (ECT Electrostatic Charging Tendency) von fest/flüssigen Isolierungskomponenten werden derzeit Vorschläge für normungsfähige Prüfverfahren untersucht. Die angewandten Verfahren lassen sich auf drei unterschiedliche Prinzipien zurückführen. Die Ermittlung der Aufladungsneigung mittels sogenannter Kanalmodelle basiert auf ebenen und gleichförmigen Strömungsverhältnissen. Andere Verfahren beruhen auf der Ladungstrennung infolge von rotierenden Isolierflüssigkeiten (Couette-Charger, Spining-Disc) oder auf der elektrostatischen Aufladung öldurchströmter Filter (Ministatikttest). Im Hinblick auf die Übertragbarkeit von ECT-Messungen auf die Aufladungsphänomene in

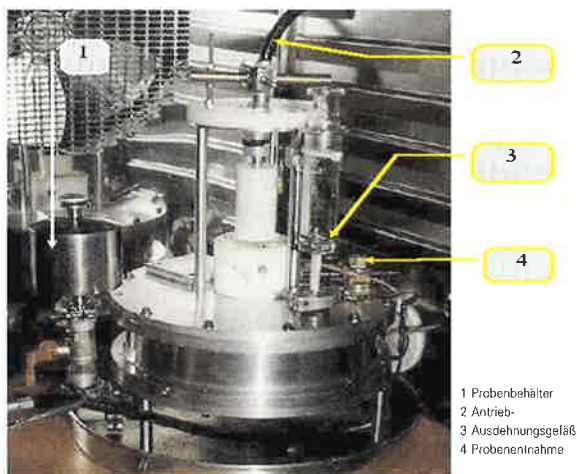


Abb.3: Prüfanordnung zur Ermittlung der elektrostatischen Aufladungsneigung (ECT) von fest/flüssigen Isolierungssystemen

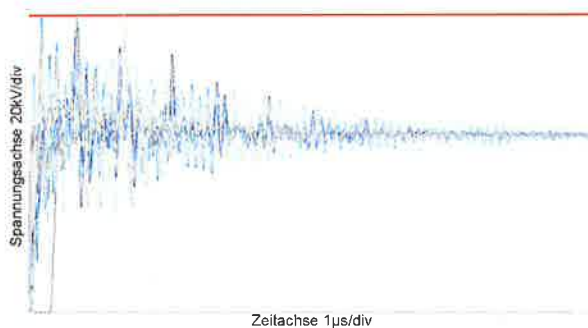


Abb.4: Darstellung sämtlicher Überspannungen an den Betriebsmitteln am Beispiel einer Mittelspannungsschaltanlage, die rote Linie stellt die geprüfte Stoßspannungsfestigkeit dar

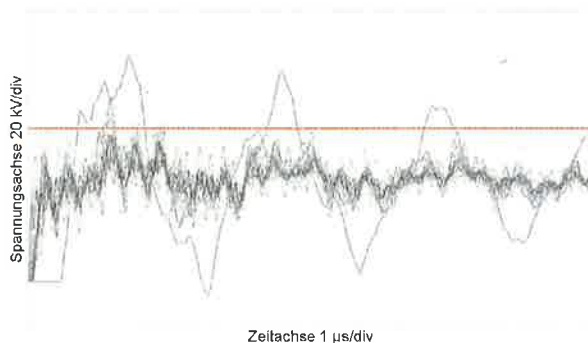


Abb.5: Darstellung sämtlicher Überspannungen an den Betriebsmitteln bei Ausfall des Ableiters am Hochspannungstransformator mit dadurch entstehender schwingender Überbeanspruchung am Transformator

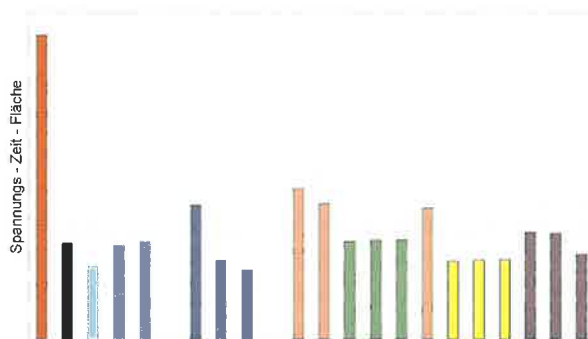


Abb.6: Bewertung der Spannungs-Zeit-Fläche als Stoßbeanspruchungsmaß eines Anlagenabschnittes bei unterschiedlichen Anlagenkonfigurationen, zum Vergleich stellt der rote Balken die Prüfbeanspruchung dar.

großen Hochspannungstransformatoren sind diese Methoden aber sehr unterschiedlich zu bewerten. Den Idealforderungen kommen mittlere oder große Kanalmodelle mit rechteckigen Querschnitten – wie sie am Institut entwickelt wurden – sehr nahe. Wie Untersuchungen gezeigt haben, lässt sich aus der Messung der Aufladestromdichte in Kanalmodellen sowie der numerischen Berechnung der Isolierölströmung in Hochspannungstransformatoren die Auswahl der Isolierungskomponenten sowie die konstruktive Auslegung im Hinblick auf elektrostatische Aufladungen bereits in der Entwicklungsphase optimieren. Diese experimentellen

Untersuchungen und theoretischen Arbeiten ermöglichen dem Hersteller und dem Betreiber von zwangsgekühlten Hochspannungsleistungstransformatoren ein gesichertes Wissen um die Entstehungsursachen sowie die technischen Möglichkeiten zur Beeinflussung des elektrostatischen Aufladungsverhalten.

### Umweltmanagement von Hochspannungsnetzen

Neben technischen Anforderungen, energiewirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen wird der Transport elektrischer Energie über Hochspannungsnetze zunehmend auch durch ökologische Auflagen und gesellschaftliche Erwartungen bestimmt. Bei der Erfüllung dieser meist sehr widersprüchlichen Rahmenbedingungen bieten umweltpolitische Instrumente wie normierte Umweltmanagementsysteme auch in netzbetreibenden Unternehmen entscheidende Vorteile. Die Erfassung und Bewertung der ökologischen Auswirkungen von Hochspannungsnetzen beziehen sich vordergründig auf den Lebensraum des Menschen; sie werden aber stark durch individuelle Empfindungen und subjektive Urteile bestimmt. Genehmigungsverfahren für Hochspannungsnetze müssen daher in Zukunft in einem weit höheren Ausmaß als bisher den Aspekt der Umweltverträglichkeit und gesellschaftlichen Akzeptanz berücksichtigen sowie die Integration aller betroffenen Interessensgruppen gewährleisten. Dies gilt in Österreich seit der gesetzlich verankerten Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) besonders für die Planung, Errichtung und den Betrieb von Hochspannungsfreileitungen mit einer Übertragungsspannung über 110 kV. Im Rahmen eines Gemeinschaftsprojektes mit der Österreichischen Elektrizitätswirtschafts-AG wurden unter Einsatz des sogenannten Quality Function Deployment mögliche Verbesserungspotentiale zur Umsetzung umweltrelevanter Maßnahmen analysiert. Defizite bestehen derzeit im Umweltmanagement und bei der zielgruppenorientierten Kommunikation. Die Anwendbarkeit von Umweltmanagementsystemen bei Hochspannungsnetzen wurde im Hinblick auf Systemgrenzen und Betriebszustände untersucht (Validierung gemäß EMAS-Verordnung, Zertifizierung gemäß Umweltmanagementsystem EN-ISO 14001). Die unterschiedlichen Umweltmanagementtechniken lassen sich bei Hochspannungsnetzen nur unter Adaptierung auf die umweltrelevant atypische und interdisziplinäre Problemstellung anwenden. Basierend auf der Struktur des Regelwerkes ISO 14001 wurde ein Vorschlag für ein Musterumweltmanagementhandbuch für den Transport elektrischer Energie über Hochspannungsfreileitungen erstellt. Für die Einbindung

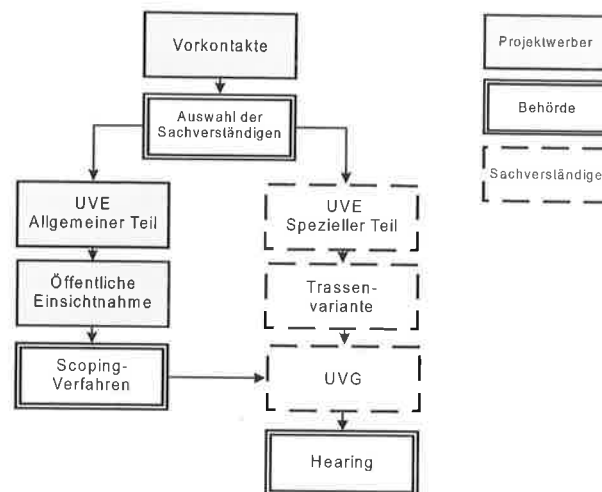


Abb. 7: Verfahrensablauf zur Einbindung von UVP-Elementen in Genehmigungsverfahren für Hochspannungsnetze nach dem StwG

der Umweltverträglichkeitsprüfung im Sinne des UVP-G in bereits laufende Genehmigungsverfahren nach dem Starkstromwegegesetz wurde ein integratives Konzept erarbeitet. Diese Arbeiten wurden von der Österreichischen Gesellschaft für Energietechnik im ÖVE (ÖGE) mit dem Förderungspreis für hervorragende Arbeiten auf dem Gebiete der elektrischen Energietechnik ausgezeichnet. Bewertet wurde dabei besonders die fachliche Qualität, die methodische Darstellung sowie die Aktualität der Themenstellung.

### Typenprüfungen an Hochspannungstrennschaltern

Um Dimensionierungsunterlagen für Hochspannungsschalter zu gewinnen, wurden vollständige Reihen von Typenprüfungen an modifizierten Prototypen vorgenommen. Dabei ging es nicht nur um die Entwicklung zu höheren Übertragungsspannungen, sondern um verbesserte Platzausnutzung bei vorgegebenen Sicherheitskriterien. Die Bemessung muss nicht nur in Hinblick auf die Isolationssicherheit bei ungünstigen Klimaeinflüssen (wie Beregnung, Vereisung und Verschmutzung), sondern auch in Hinblick auf Umweltbeeinflussung (Funkstörspannungsfreiheit) optimiert werden. Insbesondere die Belastung der Trennstrecke mit der höchstmöglichen im Betrieb zu erwartenden Beanspruchung stellte auch die Prüftechnik vor schwierige Aufgaben. Die sichere Auftrennung zweier Anlagenteile ist nur gewährleistet, wenn der höchstmöglichen Betriebswechselspannung und der entsprechend dem Schutzniveau zu erwartenden Impulsspannung gleichzeitig standgehalten wird. Die Prüfung erfolgt also durch das Zusammenwirken zweier Hochspannungserzeuger (Prüftransformator als Quelle der Betriebswechselspannung auf der einen Seite und Stoßspannungsgenerator



als Quelle von Blitz- oder Schaltspannungsbelastungen auf der anderen Seite) in genau vorgegebener zeitlicher Synchronisation. Gleichzeitig muss auch auf den Schutz dieser Spannungsquellen bei Versagen der geprüften Isolation Bedacht genommen werden. Der dazu notwendige Prüfaufbau erforderte die räumliche Verbindung der Hochspannungshalle mit dem Freigelände. Mit dem in Hinblick auf die Hochspannungsversuche gut ausgelegten Erdungssystem des Labors konnten auch die daraus entstandenen messtechnischen Schwierigkeiten gut gemeistert werden.

### Messung von Teilentladungen

Die Erfassung von Teilentladungen (TE) in Betriebsmitteln der Hochspannungstechnik stellt eine wichtige Methode zur Feststellung der Güte eines Isoliersystems dar. Unter Teilentladungen versteht man die Erscheinungsformen elektrischer Entladungen, bei welchen nur ein Teil des elektrisch beanspruchten Dielektrikums durch eine örtliche elektrische Entladung zeitweilig überbrückt wird. Teilentladungen entstehen an Stellen überhöhter Feldstärke, wobei unterschieden wird zwischen inneren Teilentladungen, die in einem Dielektrikum, und äußeren Teilentladungen, die in Gasen an Elektroden oder Leitern hoher Krümmung und auf Oberflächen von Feststoffisolierungen auftreten.

Auf dem Gebiet der Teilentladungsmesstechnik ist man bestrebt, immer häufiger digitale Messsysteme einzusetzen. Bei dem am Institut im Bereich der Lehre und Forschung eingesetzten Teilentladungsmesssystem ICM erfolgt die Erfassung der einzelnen Teilentladungsimpulse analog, die dann in einem Analog-Digital-Konverter weiterverarbeitet und zusammen mit anderen Messwerten wie Spannung und Zeit gespeichert werden. Das

Verfahren liefert Informationen über die Anzahl, Intensität und die Phasenlage der Teilentladungsimpulse in Form eines färbigen dreidimensionalen Fingerprints.

Als Schwerpunkt auf diesem Forschungsgebiet wurde das Verhalten von Teilentladungen an der Oberfläche von Generatorstäben untersucht. Diese Arbeiten konnten in einer Forschungskooperation mit einem österreichischen Elektrizitätsversorgungsunternehmen durchgeführt werden und hatten das Ziel, die Abhängigkeit der Entladungsform von dem in einem Hochspannungsgenerator vorkommenden Feuchte- und Temperaturbereich systematisch und reproduzierend zu erfassen. Ergänzend dazu wurde auch eine quantitative Erfassung des dabei entstehenden Ozons durchgeführt.

Die drei Abbildungen zeigen ein Untersuchungsergebnis an einem Generatorstabmodell. Die blaue Linie stellt die Versorgungsspannung und die färbigen Fingerprints stellen die Ladung in Abhängigkeit der Phasenlage jedes einzelnen TE-Impulses dar. Die Häufigkeit jeder einzelnen Entladungshöhe ist in Farbe skaliert, wobei grau eine geringe und rot bis gelb eine hohe Anzahl bedeuten. Im linken Bild ist die Nullmessung des TE-Verhaltens ohne Fehlerstelle, in den beiden anderen Bildern ist das TE-Verhalten mit künstlicher Fehlerstelle bei unterschiedlicher Feuchte dargestellt.

Die wissenschaftlichen Inhalte dieser Untersuchungen werden auch auf internationalen Kongressen präsentiert, und liefern einen Beitrag für die Online- und Offline-Analysen an Hochspannungsgeneratoren.

### Elektrische Verfahren in der Umwelttechnik

#### Allgemeines

Die elektrischen Verfahren besitzen das gemeinsame Merkmal, Partikel oder fein versprühte Flüssigkeits-

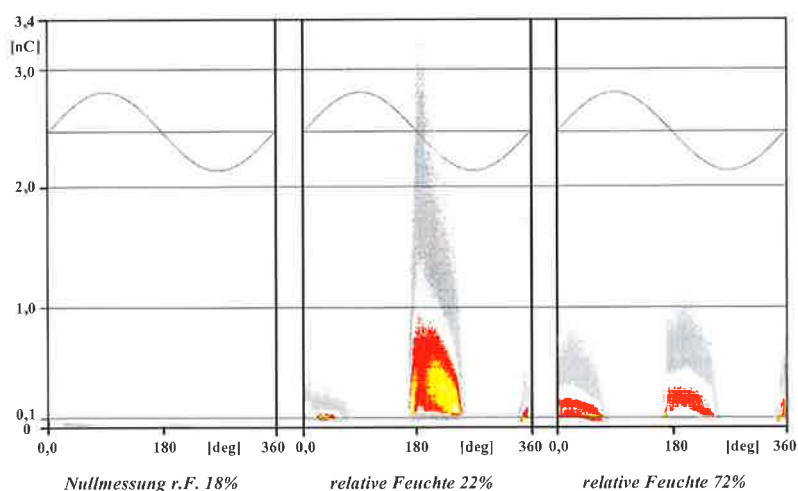


Abb.8: Teilentladungen an einem Generatorstabmodell

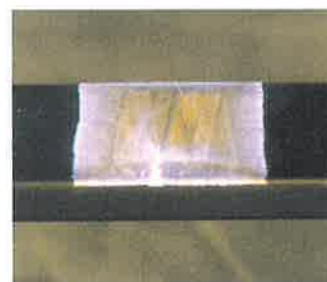


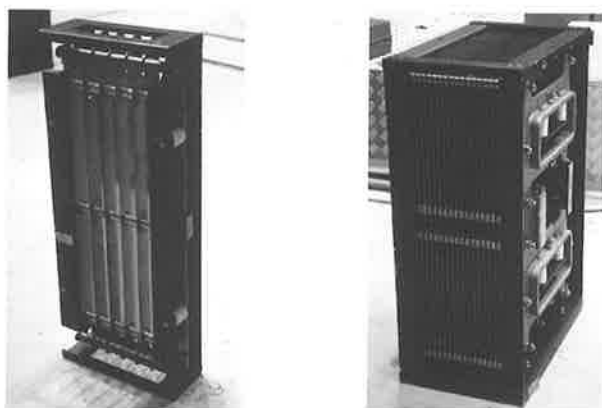
Abb.9: Oberflächenentladungen an einem Generatorstabmodell an einer künstlich definierten Fehlerstelle.

teilchen mit einer elektrischen Ladung zu versehen und diese unter der Einwirkung elektrischer Kräfte allein oder zusätzlich geführter Bewegung in einem Trägergas an eine Niederschlagsfläche zu führen. Neue Anwendungsgebiete dieser Verfahren, wie etwa die Tunnelabluftreinigung oder die Rauchgasreinigung bei Biomassefeuerungen, sind Schwerpunkt von Forschungsaktivitäten unseres Instituts.

#### *Elektrofilter zur Tunnelabluftreinigung*

Für die Ausführung eines Elektrofilters zur Tunnelabluftreinigung sind Art der Partikel, deren Konzentration und die anfallende Luftmenge bestimmend. Um teure Ausbruchkosten zu vermeiden, ist eine möglichst platzsparende Bauweise einzusetzen.

Abb. 10 zeigt die Ausführung eines Elektrofilters in Modulbauweise mit getrennter Auflade- und Abscheidezone.



a) Aufladezone

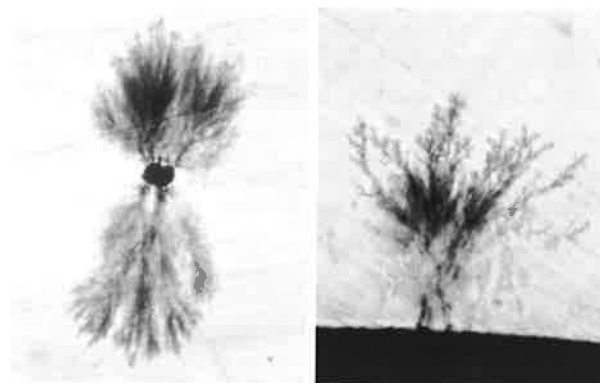
b) Abscheidezone

Abb. 10: Modul eines Elektrofilters zur Tunnelabluftreinigung

Die Sprühelektroden der Aufladezone bestehen aus glatten, dünnen Runddrähten und werden mit einer Gleichspannung von 12,5 kV versorgt. Durch kurze, geerdete Gegenelektroden wird eine Anlagerung von aufgeladenen Partikeln in der Aufladezone verhindert. Die Abscheidezone besteht aus zahlreichen Platten, welche alternierend mit Hochspannung von 5 kV bzw. mit Erdpotential verbunden werden.

#### *Water Treeing – ein Alterungsphänomen in kunststoffisolierten Mittelspannungskabeln*

Water Treeing ist gegenwärtig das wichtigste bekannte Alterungsphänomen in kunststoffisolierten Mittelspannungskabeln. Es stellt einen irreversiblen Vorgang dar, bringt eine Schädigung des Kabeldielektrikums mit sich und bewirkt eine Herabsetzung der elektrischen Festigkeit. Water Treeing stellt einen sehr komplexen und langwierigen Prozess dar, bei dem mehrere Mechanis-



a) Bowtie Tree

b) Vented Tree

Abb. 11: Bilder von beiden Water Tree Arten

men eine Rolle spielen und der sich über Jahre erstrecken kann. Bei den Untersuchungen zeigte sich, dass die wichtigsten Einflussparameter bei der Ausbildung und beim Wachstum der Water Trees die Temperatur, die Feuchtigkeit, die chemischen Wasser- verhältnisse, aber auch die Frequenz darstellen. Die Kenntnis der Problematik des Water Treeings ist sowohl für Hersteller von Energiekabeln und für Betreiber von Kabelanlagen als auch für die Entwicklung von Diagnoseverfahren zur Beurteilung der Kunststoffisolierung von größter Bedeutung. Die Aufgabe dieser Diagnosesysteme ist, durch die Erfassung verschiedener elektrischer Messgrößen (z.B. Strom, Spannung, Impedanz) den Alterungszustand des Kabels zu bestimmen und eine Abschätzung der Restlebensdauer zu ermöglichen. Zerstörungsfreie Messverfahren zur dielektrischen Diagnostik werden sowohl im Frequenzbereich als auch im Zeitbereich entwickelt. Am Institut für Hochspannungstechnik mit Versuchsanstalt der Technischen Universität Graz wird an der Erforschung dieses Gebietes gearbeitet. Mit der Entladestrommethode wurde ein Diagnoseverfahren entwickelt, welches eine einfache Methode mit klarer Aussage zur Güte der Qualität der Isolierung darstellt. Abb. 11 zeigt die beiden Arten von Water Trees in einem Kabeldielektrikum. Der Bowtie Tree bildet sich im Bereich von Inhomogenitäten innerhalb des Dielektrikums aus, während der Vented Tree im Bereich der Grenzschichten des Dielektrikums auftritt.

#### **Elektrotechnik-Wirtschaft**

In den neuen Studienplan für Elektrotechnik an der Technischen Universität Graz wurde ein Studienmodell „Elektrotechnik-Wirtschaft“ aufgenommen. Das wesentlich Neue an diesem Studienmodell ist, dass es sich dabei um eine „vertiefende wirtschaftswissenschaftliche Ausbildung“ im Rahmen der gebundenen Wahlfachkataloge des zweiten Studienabschnittes

kelag





handelt. Der Elektrotechniker absolviert dabei die gesamte technische Pflichtausbildung seines gewählten Studienzweiges, wählt anschließend aus den gebotenen Wahlfachkatalogen seine spezielle wirtschaftswissenschaftliche Vertiefung und kann damit auch eine zusätzliche Kennzeichnung „Elektrotechnik-Wirtschaft“ im Diplomprüfungszeugnis erwerben. „Vertiefend“ bedeutet, dass der ausgebildete Absolvent nach wie vor ein akademisch fundiert ausgebildeter Ingenieur ist, aber im Gegensatz zum „rein“ technisch ausgebildeten Ingenieur anstelle einer weiteren technisch fachspezifischen Vertiefung im zweiten Studienabschnitt, eine praxisorientierte wirtschaftswissenschaftliche Ausbildung absolviert. Die wirtschaftswissenschaftlichen Ausbildungsinhalte sind in wirtschaftswissenschaftlichen Wahlfachkatalogen zusammengefasst. Diese Wahlfachkataloge haben folgende Bezeichnungen:

- Betriebswissenschaften und Produktionstechnik
- Energie- und Volkswirtschaft

• Rechts- und Arbeitswissenschaften

Zusätzlich zu diesen frei wählbaren wirtschaftswissenschaftlichen Lehrveranstaltungen sind die wirtschaftswissenschaftlichen Kernfächer Betriebswirtschaftslehre, Buchhaltung und Bilanzierung, Kosten- und Erfolgsrechnung bereits gemeinsam mit dem studienzweigspezifischen Hauptwahlfachkatalog zu absolvieren. Von den in diesen wirtschaftswissenschaftlichen Lehrveranstaltungen im Ausmaß von 44 Semesterwochenstunden werden 10 SWS, also ca. 23%, am Institut für Hochspannungstechnik angeboten. Das Ergebnis seit Wirksamkeit des Tech-StG 1990 ist in der Tabelle zu sehen. Es zeigt also, dass das Modell „Elektrotechnik-Wirtschaft“ von ca. 15% unserer Absolventen gewählt wurde und auch die Betreuung von Diplomanden und Dissertanten durchaus positiv zu beurteilen ist. Nach dieser sehr kurzen Anlaufzeit seit dem Studienjahr 1996/97 ist das als Erfolg zu werten.

	Anz.	Bemerkungen	Absolventen
<b>Elektrotechnik</b>	<b>844</b>	1990/91-1997/98	<b><u>105 Abs./Jahr</u></b>
Gesamtabsolventen			
davon mit <b>Kennzeichnung</b>	<b>16</b>	1996/97-1997/98	<b><u>8 Abs./Jahr</u></b>
ET-Wirtschaft			6,2%
<b>Studium irregulare</b>	<b>31</b>	1990/91-1997/98	<b><u>4 Abs./Jahr</u></b>
ET-Wirtschaft			3,7%
<b>Wirtschaftsausbildung total</b>	<b>47</b>	1990/91-1997/98	<b><u>6 Abs./Jahr</u></b>
in Studienrichtung ET			5,6%
<b>Diplomarbeiten</b>	<b>34</b>	1990/91-1997/98	
Wirtschaftswissenschaften			
<b>Dissertationen</b>	<b>10</b>	1990/91-1997/98 insgesamt,	
Wirtschaftswissenschaften	<b>3</b>	davon abgeschlossen	

Tab.1: Wirtschaftswissenschaftliche Ausbildung in der Studienrichtung Elektrotechnik