



2. Forschung für die Energiewende

Prof. Dr.-Ing. Markus H. Zink

Was ist Hochspannungstechnik

„Hochspannungstechnik“ – dieser Begriff klingt zwar antiquiert und schreckt vielleicht auch manche (zu Recht?!) ab, doch hinter dieser, zugegeben alten Disziplin der Elektrotechnik steckt ein hochaktuelles Forschungsgebiet von größter Relevanz ...

Die Entwicklung der Elektrifizierung begann Ende des 19. Jahrhunderts mit der Entdeckung des elektrodynamischen Prinzips durch Werner von Siemens und der Erfindung der Glühbirne und der daraus resultierenden Etablierung lokaler Stromversorgungen, v.a. zu Beleuchtungszwecken. Bald kamen aber auch andere Anwendungen, z.B. in der Mobilität durch erste elektrische Eisenbahnen und sogar erste elektrische Automobile hinzu. Mit dem voranschreitenden Ausbau der Elektrifizierung gewann auch die Übertragung der elektrischen Energie über größere Strecken zunehmend an Bedeutung. Hier hatte sich im sogenannten „Stromkrieg“ zwischen Thomas Edison (Verfechter des Gleichstroms) und George Westinghouse mit Nikola Tesla (Wechselstrom) der Wechselstrom gegenüber dem Gleichstrom durchgesetzt. Der Grund hierfür war die leichtere und effizientere Übertragung von Wechselstrom, weil durch die Verwendung von Transformatoren die Spannung für die Übertragung erhöht werden kann, sodass die durch den Strom auf der Leitung verursachten Verluste reduziert werden.

Gemäß dem Credo „Isolation ist nicht alles, aber ohne Isolation ist alles nichts“ wäre ohne eine ausreichende elektrische Isolierung und ohne die Hochspannungstechnik eine zuverlässige und sichere Stromversorgung nicht möglich, was die Hochspannungstechnik seit jener Zeit zu einer Schlüsseldisziplin der Elektrotechnik macht. Dabei ist der Begriff Hochspannungstechnik sogar in gewisser Weise irreführend, denn es geht nicht immer nur um hohe Spannungen, sondern ganz allgemein um die sichere Beherrschung (hoher) elektrischer

Feldstärken und die zuverlässige Isolierung elektrischer Leiter – in allen Anwendungsbereichen der Elektrotechnik und Elektronik.

Über viele Jahrzehnte hat sich an der Struktur der Energieerzeugung, -übertragung und -anwendung sowie auch an den Isoliermaterialien und -systemen der Betriebsmittel nicht viel verändert. Nach wie vor werden z. B. in Transformatoren flüssige Isolierstoffe in Kombination mit festen Werkstoffen auf Zellulosebasis verwendet und für die Isolierung von Kabeln, Motoren oder Leistungshalbleitern werden häufig Kunststoffe eingesetzt.

Die sich heute aufgrund der Dekarbonisierung der Energieversorgung abzeichnende Entwicklung der modernen Gesellschaft hin zu einer „All Electric Society“ stellt jedoch ganz neue Herausforderungen an die Energieübertragung und -verteilung und insbesondere auch an die dafür eingesetzten Betriebsmittel und deren Isoliersysteme. Hinzu kommt, dass durch die Umstrukturierungen im Rahmen der Energiewende auch die elektrischen Energienetze für sich allein und darüber hinaus auch im Verbund mit den anderen Energiesektoren immer komplexer werden, was ein gewisses Umdenken und einen Wechsel der, über lange Zeit gültigen Paradigmen erfordert.

So wird inzwischen doch auch wieder vermehrt die Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ) eingesetzt – zum einen aufgrund wesentlich größerer Übertragungsstrecken, zum anderen wegen technischer Vorteile, wie z.B. der Möglichkeit von Blindleistungsbereitstellung durch moderne Leistungsumrichter. Im Bereich der Erzeugung und Anwendung elektrischer Energie, beispielsweise bei Motoren, in der Elektronik oder auch bei den erneuerbaren Energien, kommt es heute durch den Einsatz von Leistungselektronik und neuen Halbleitertechnologien zu einer gänzlich anderen Belastung der Isoliersysteme als früher. Mit diesen Veränderungen und den gleichzeitig steigenden

Anforderungen, insbesondere hinsichtlich der Effizienz und Wirtschaftlichkeit, geht auch ein stark gesteigener Forschungsbedarf einher. Denn um diesen neuen Herausforderungen bei den Isoliersystemen der Hochspannungstechnik zu begegnen, braucht es mehr Verständnis für die physikalischen bzw. chemischen Zusammenhänge sowie um die Auswirkungen der hochfrequenten und transienten Belastungen. Sicherheitsfaktoren für die Auslegung der Isoliersysteme, wie sie in früheren Designs enthalten waren, sind so nicht mehr umsetzbar und die materialspezifischen Grenzen müssen besser bekannt sein und verstanden werden.

Die sich derzeit abzeichnenden Veränderungen in der elektrischen Energietechnik betreffen allerdings nicht nur die Isoliersysteme der Betriebsmittel. Vielmehr ist das ganze Elektroenergiesystem großen Veränderungen unterworfen. So ist die klassische Top-Down-Struktur des Energieflusses, wie sie jahrzehntelang etabliert war, inzwischen durch den intensiven Ausbau der Erneuerbaren Energien auf den unteren Netzebenen nicht mehr gültig und Energie wird je nach Tageszeit und entsprechend dem Angebot und der Nachfrage und der Nachfrage über die Netzebenen und zwischen den Netzbetreibern in großen Mengen ausgetauscht. Gleichzeitig verändert sich nicht nur die Struktur der Energieerzeugung, sondern auch der Energienutzung, weil in allen Energiesektoren fossile Energieträger vermehrt durch elektrische Energie ersetzt werden, z.B. durch elektrisches Fahren und Heizen. Auch diesen massiven Veränderungen muss das Elektroenergiesystem

begegnen und muss an die neuen Herausforderungen angepasst werden, damit auch künftig die Versorgung mit elektrischer Energie zuverlässig, günstig und sicher gewährleistet ist.

Das IEHT der THWS

Die sich im Rahmen der Energiewende abzeichnende Entwicklung hin zur vermehrten Nutzung von Gleichstrom zur Energieübertragung initiierte den Einstieg des Hochspannungslabors der THWS in die intensive Forschungskooperation mit regionalen und überregionalen Industriepartnern. Die Grundlage für diese Zusammenarbeit bildeten erste dielektrische Messungen an Isolierwerkstoffen, bei denen die Industriepartner auf die für den deutschen Hochschulbereich teilweise einzigartige Infrastruktur des Hochspannungslabors zurückgriffen. Aus diesen ersten Dienstleistungstätigkeiten entwickelte sich vor rund 20 Jahren das **Institut für Energie- und Hochspannungstechnik**, das somit eines der ältesten Forschungsinstitute der THWS ist. Über längere Zeit stand am **IEHT** die Forschung im Bereich der Isolierwerkstoffe und -systeme klar im Vordergrund. Inzwischen hat sich allerdings die Struktur des Instituts den aufgeführten Entwicklungen im Energiebereich angepasst. Die Arbeit ist geprägt von interdisziplinärer Forschung, die die klassischen Inhalte der Energie- und Hochspannungstechnik mit den modernen Werkstoffwissenschaften sowie der Physik, Chemie und Mathematik kombiniert.



Onsite Diagnose-
Messung an einem
380 kV Transformator
im Energienetz

Die Forschung innerhalb des IEHT ist in drei Kernbereiche gegliedert:

Center für Hochspannungstechnik und Isoliersysteme (CEHIS):

- Entwicklung, Untersuchung und Zustandsdiagnose von Isoliersystemen und dielektrischen Werkstoffen für unterschiedlichste Anwendungen von großen Transformatoren, über moderne Hochspannungskabel bis hin zu Leistungselektronik und elektrischen Maschinen

Center für Materialwissenschaften (CEMAT):

- Untersuchung und Erforschung von Werkstoffen für Isoliersysteme, u. a. durch moderne Materialwissenschaften sowie Modellbildung und Simulation auf unterschiedlichen Skalen, bis in den atomaren Bereich

Center für Elektrische Energiesysteme und Erneuerbare Energien (CEPS):

- Untersuchung des Betriebsverhaltens elektrischer Energiesysteme mit dem Fokus auf deren Resilienz im systemdynamischen Verhalten durch Maßnahmen in Netzplanung und -führung, u. a. durch fundierte Energiesystemanalysen mittels Simulation

Jedes dieser Center verfolgt spezifische Forschungsziele, die sich gegenseitig ergänzen und so den ganzheitlichen und interdisziplinären Ansatz des Instituts unterstreichen. Dabei spielt auch die Verzahnung von Forschung und Lehre eine zentrale Rolle: Studierende aus allen Ebenen der akademischen Ausbildung werden frühzeitig in die Projekte eingebunden, wodurch den künftigen Fach- und Führungskräften direkt Einblicke in die aktuellen Fragestellungen aus Wissenschaft und Praxis gegeben werden.

Forschung und Methodik am IEHT

Das IEHT forscht mit einer außergewöhnlichen und für den deutschen Hochschulbereich teilweise einzigartigen Bandbreite an Methoden und Technologien, die es ermöglichen, die vielfältigen Herausforderun-

gen der modernen Energieübertragung zu adressieren. Eines der bemerkenswertesten Werkzeuge im CEHIS beispielsweise ist ein weltweit einzigartiger Prüfstand, der mittels Laser und des elektrooptischen Kerr-Effekts elektrische Feldstärken in realitätsnahen Transformator-Isoliersystemen bei gleichzeitiger Erfassung des durch die Isolierung fließenden Stromes im pA-Bereich messen kann.

Weitere wichtige Untersuchungsmethode ist die am CEMAT vorhandene IR- und Raman-Spektroskopie, die besonders in der Analyse von Alterungserscheinungen und Materialveränderungen eingesetzt wird. Zusammen mit moderner, multiphysikalischer Modellbildung und Simulation ermöglichen diese Untersuchungen einen theoretischen Tiefgang der Forschung, der bisher nicht erreichbar war und es lassen sich neue Erkenntnisse hinsichtlich des dielektrischen Materialverhaltens unter Gleichspannungsbelastung erzielen, die bei den Industriepartnern direkt in das Design der Isoliersysteme einfließen können.

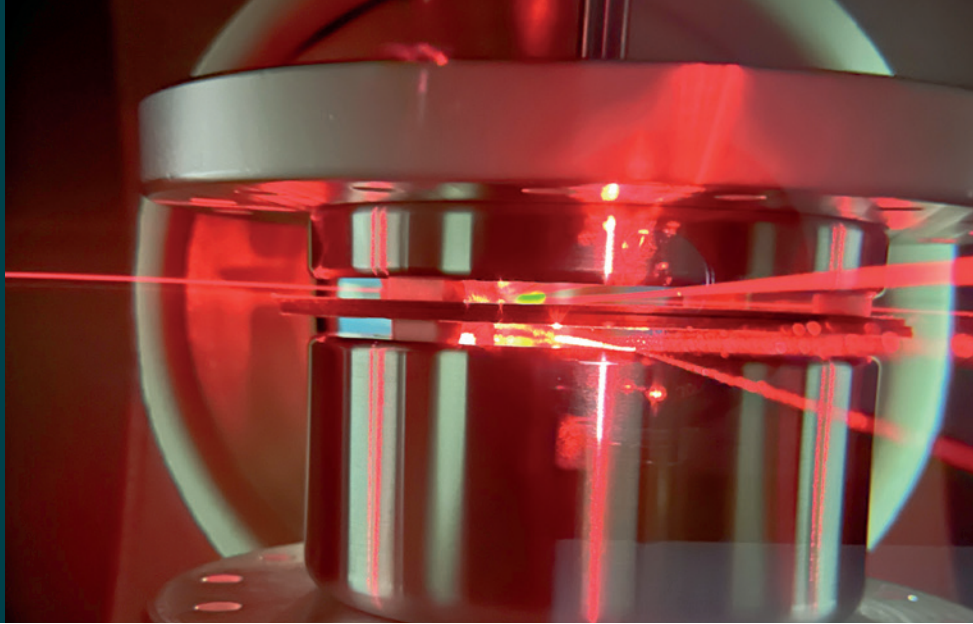
Neben der Erforschung von Isoliermaterialien für Transformatoren oder Kabel bei Gleichspannung wird am IEHT auch das Verhalten von Isoliermaterialien bei hochfrequenter Hochspannung untersucht. Dieses Verständnis ist z. B. im Bereich neuer Leistungshalbleitertechnologien oder elektrischer Maschinen relevant. Neue Projekte adressieren auch das Verhalten von Transformatorisoliersystemen bei hochfrequenter Belastung, wie sie z. B. bei transienten Überspannungen im Energienetz hervorgerufen wird. Hierbei spielt u. a. auch die durch elektronische Komponenten veränderte Spannungsqualität eine große Rolle, die es bei der Auslegung der Isolierungen zu berücksichtigen gilt.

Für Untersuchungen der Dynamik im Elektroenergiesystem setzt das CEPS auf performante Simulationssoftware zur effektiven Identifikation von Schwachstellen und zur Validierung von Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz. Weiterhin werden Echtzeitsimulatoren eingesetzt, um sowohl einzelne Betriebsmittel als auch komplette Netze simulativ in verschiedenen Resilienz-szenarien abzubilden. Durch modernes Messequipment besteht zudem die Möglichkeit, Messungen und

Labora Aufbau zur Nachbildung und Erprobung von digitalisierten Stromnetzen sowie zur Analyse von Fehlerkaskaden und der Resilienz von Elektroenergiesystemen



Laserstrahlen im Kerr-Messaufbau zur rückwirkungsfreien Messung der elektrischen Feldstärke in einem Öl-Papier-Transformatorisoliersystem für Gleichspannung



Analysen sowohl im Labor, als auch vor Ort bei Praxispartnern durchzuführen sowie die Simulationsmodelle anhand realer Daten zu validieren.

Ergebnis und Transfer

Das IEHT hat durch seine Forschung in den letzten Jahren beachtliche Erfolge erzielt. Insbesondere hinsichtlich der Technologien im Bereich der Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ) konnte das Institut in Zusammenarbeit mit den Industriepartnern wesentliche Beiträge leisten. Neben zahlreichen Fachpublikationen wurden auch sieben Promotionen in Kooperation mit deutschen Universitäten erfolgreich durchgeführt. Von diesen Promovenden sind vier inzwischen auf Professuren an deutschen Hochschulen berufen. Die Forschung am IEHT wird stetig an die Anforderungen aus der Praxis angepasst. So erweitert sich beispielsweise derzeit das Forschungsfeld des CEHIS auch hin zu natürlichen Esterflüssigkeiten, die zukünftig als nachhaltiger Ersatz für Mineralöl in HGÜ-Transformatoren Einsatz finden sollen. Dabei ist die Forschung am IEHT sowohl praxis-, als auch grundlagenorientiert und die gewonnenen Erkenntnisse über das Verhalten der Werkstoffe haben nicht nur direkten

Einfluss auf industrielle Anwendungen, sondern tragen auch zur theoretischen Erkenntnis bei. Die enge Zusammenarbeit mit führenden Unternehmen und Institutionen, u.a. auch der Deutschen Forschungsgemeinschaft, unterstreicht die Relevanz des IEHT als Forschungspartner. So arbeiten derzeit acht Doktoranden am Institut in unterschiedlichen, aber doch oft miteinander verzahnten Projekten in enger Kooperation mit den beteiligten Industriepartnern.

Nicht zuletzt ergibt sich auch durch die Mitarbeit in wissenschaftlichen Gremien (z.B. VDE, CIGRÉ, ETG-Fachbereich Querschnittstechnologien Q2: Werkstoffe – Isoliersysteme – Diagnostik, Würzburger Forschungsverbund Funktionswerkstoffe WFF) sowie durch zahlreiche Kooperationen, u.a. auch mit ausländischen Universitäten und Gastwissenschaftlern, z.B. durch Kooperation mit der Alexander-von-Humboldt-Stiftung, eine enge Vernetzung mit Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft. Insgesamt zeigt sich, wie wichtig interdisziplinäre Forschung heute ist, um den vielfältigen und komplexen Herausforderungen der modernen Energieversorgung zu begegnen. Mit seiner Forschung bereitet das IEHT zusammen mit seinen Partnern den Weg für eine zukunftsfähige und nachhaltige Energiewirtschaft in der „All Electric Society“.

Short Facts:

Thema

Elektrische Energietechnik

Leitung

Prof. Dr.-Ing. Markus H. Zink
Prof. Dr. Maja Kobus

(Spezial-)gebiete

Isoliersysteme
Hochspannungstechnik
Energiesysteme
Materialwissenschaften

Standort & Kontakt

Ignaz-Schön-Straße 11 | 97421 Schweinfurt
ieht@thws.de