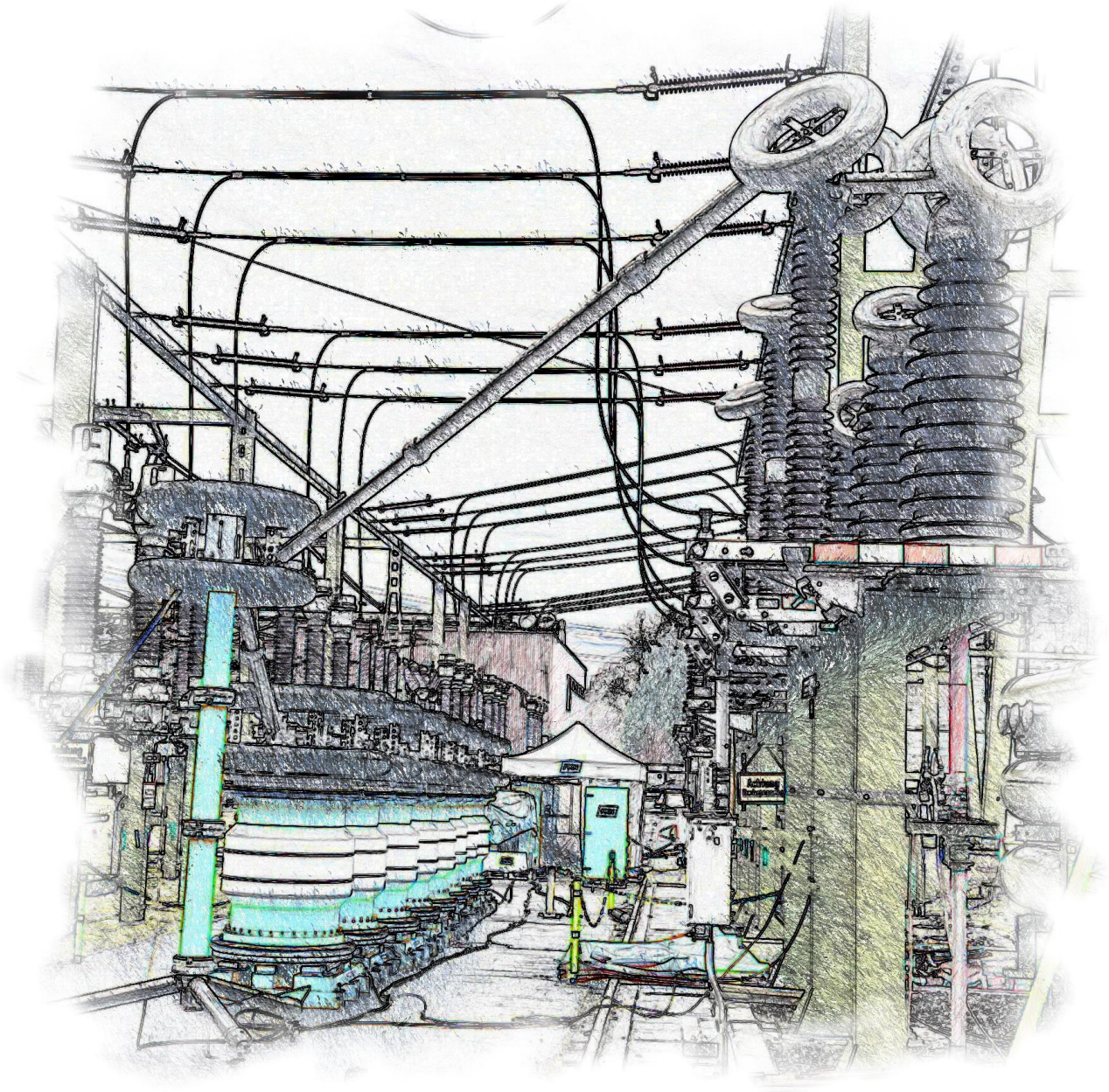
FKH

Fachkommission für Hochspannungsfragen
Commission d'étude des questions relatives à la haute tension



JAHRESBERICHT 2015

Inhalt

Seite

Vorwort des Präsidenten und des Geschäftsleiters 3
1. Struktur und Leitbild der FKH 5
2. FKH-Vorstand 7
3. FKH-Geschäftsstelle 9
4. Personelle Veränderungen 10
5. Dienstleistungen der FKH 11
6. Auftragsarbeiten, statistische Übersicht 12
7. Ausgewählte Auftragsarbeiten 14
8. F&E – Arbeiten 23
9. FKH-Labor für Isolierölanalysen 27
10. Fachtagung „Hochspannungs-Leistungsschalter“ 28
11. Zusammenarbeit mit Hochschulen / Nachwuchsförderung 29
12. Teilnahme an Fachveranstaltungen, Referate, Publikationen 30
13. Mitgliedschaft / Mitarbeit in Fachgremien und Kommissionen 31
14. FKH-Mitglieder 33
15. Informationsbroschüren der FKH 36
16. Zufahrtspläne für die FKH-Standorte 37

Vorwort des Präsidenten und des Geschäftsleiters

Sehr geehrte FKH-Mitglieder, sehr geehrte Freunde der FKH

Die FKH blickt auf ein besonders erfolgreiches Jahr 2015 zurück. Bei den Dienstleistungen, insbesondere bei den Hochspannungsprüfungen vor Ort, stieg die Nachfrage gegenüber dem Vorjahr markant an. Der für 2015 budgetierte Umsatz mit Auftragsarbeiten wurde deutlich übertroffen. Dies ist angesichts der angespannten Situation in unserer Branche nicht selbstverständlich. Offensichtlich haben die Qualitätssicherung und eine hohe Verfügbarkeit der Hochspannungsbetriebsmittel bei unseren Mitgliedern und Kunden trotz zunehmendem Kostendruck nach wie vor einen sehr hohen Stellenwert.

Was die FKH im vergangenen Jahr erreicht hat, ist vor allem dank des Interesses und des Vertrauens unserer Mitglieder und Kunden gelungen. In partnerschaftlicher Zusammenarbeit und mit grossem Einsatz der FKH-Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter konnten 185 Auftragsarbeiten, davon 150 Prüfeinsätze vor Ort, erfolgreich abgeschlossen werden. Wir danken allen Beteiligten ganz herzlich für ihr Engagement und für ihren persönlichen Beitrag!

Im vergangenen Geschäftsjahr hat die FKH wiederum in den Ausbau und in die Erneuerung der Prüfanlagen und Diagnosesysteme investiert. So wurde der Gerätepark für die Serieresonanzprüfungen mit einem neuen Frequenzumrichter und mit den notwendigen Anpasstransformatoren ergänzt. Damit ist die FKH nun in der Lage, mehrere grössere Wechselspannungsprüfungen gleichzeitig durchzuführen. Einen signifikanten Fortschritt gab es im Bereich der Vor-Ort-Teilentladungsprüfungen von Leistungstransformatoren. Die mobile elektronische Prüfquelle zur dreiphasigen Erregung von Transformatoren, eine Eigenentwicklung der FKH (siehe auch Jahresbericht 2014), konnte mehrfach mit Erfolg eingesetzt werden. Diese Prüfeinsätze haben bestätigt, dass mit der neuen Prüfeinrichtung die Flexibilität und die Effizienz der Transformatorprüfungen ganz wesentlich erhöht und die Detektionsempfindlichkeit für Teilentladungen verbessert worden sind.

Nach seiner Berufung an die Fachhochschule Magdeburg hat Herr Dr. Maik Koch die Leitung des Isolieröllabors abgegeben. Als Nachfolger konnte Herr Dr. Thomas Heizmann gewonnen werden. Er übernahm am 1. Februar 2015 die Laborleitung und hat gemeinsam mit seinem Team die Modernisierung der Analysegeräte und den Aufbau des IT-gestützten Laborinformationssystems weiter vorangetrieben. Mit einer neu beschafften Apparatur zur Bestimmung der Zersetzungsgase im Isolieröl können heute Öl-Proben automatisch und wesentlich effizienter analysiert werden.

Die veränderten Bedürfnisse der Mitglieder und Kunden, bedingt durch strukturelle Veränderungen in der Energieversorgungsbranche oder durch die schnelle technologische Entwicklung im industriellen Umfeld, führen immer wieder zu neuen Fragestellungen und Problemen, bei deren Lösung die FKH in den letzten Jahren vermehrt zugezogen wurde. Dank hoher Fachkompetenz sind die FKH-Mitarbeiter in der Lage, neue Bedürfnisse und Probleme schnell zu analysieren und einen Beitrag zu deren Lösung zu liefern. Der Vorstand und die Geschäftsleitung gehen die vielfältigen Herausforderungen durch das veränderte Umfeld unserer Branche gemeinsam an und setzen sich aktiv dafür ein, dass die FKH à jour bleibt und dass die Mitglieder auch in Zukunft mit kompetenter Beratung und effizienten Prüfdienstleistungen wirksam unterstützt werden.

Dr. Thomas Aschwanden	Dr. Reinhold Bräunlich
Präsident	Geschäftsleiter

1. Struktur und Leitbild der FKH

1.1 Struktur der FKH

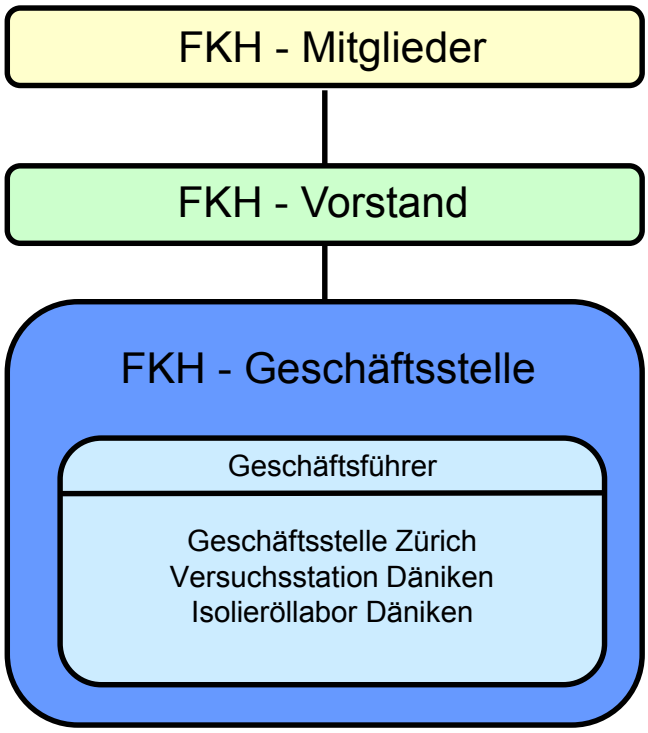


Abbildung 1 Struktur der FKH

1.2 FKH-Leitbild

Die FKH-Geschäftsstelle besteht aus einer Gruppe neutraler Sachverständiger, die über eigene Prüf- und Messeinrichtungen verfügt. Sie betreibt selbst **Entwicklungen** und steht ihren Mitgliedern sowie Dritten für **Dienstleistungen** zur Verfügung.

Die FKH übt eine **Brückenfunktion** zwischen den schweizerischen Hochschulen und den Unternehmungen der Elektroenergietechnik aus. Durch aktive Kontakte zu den beiden ETH Zürich und Lausanne sowie den Fachhochschulen, und durch Beteiligung an der Forschung leistet sie einen Beitrag zur Förderung der Attraktivität der energietechnischen Disziplinen.

Die FKH offeriert - im Sinne der **Nachwuchsförderung** - Studenten und Absolventen der Hochschulen die Mitarbeit an praxisorientierten Arbeiten.

Sie betätigt sich in **Normen- und Fachgremien** und macht ihren Mitgliedern das Wissen der Fachstellen und Hochschulen zugänglich.

2. FKH-Vorstand

Präsident	**Dr. Thomas Aschwanden** Kraftwerke Oberhasli AG
Vizepräsident	**Christian Lindner** Axpo Power AG
Mitglieder	**Dr. Josep Aniceto (seit 13. Mai 2015)** Schweizerische Bundesbahnen
	Dr. Reinhold Bräunlich [1] Fachkommission für Hochspannungsfragen
	Markus Burger Electrosuisse
	Andreas Degen (seit 13. Mai 2015) Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
	Maurice Dierick (seit 13. Mai 2015) Swissgrid AG
	Prof. Dr. Christian Franck Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
	David Gautschi GE Grid (Switzerland) GmbH
	Bernhard Krummen Service de l'Electricité de la Ville de Lausanne
	Markus Lehner Elektrizitätswerk der Stadt Zürich
	Prof. Dr. Farhad Rachidi Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
	Prof. Dominique Rolle Ecole d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg
	Dr. Alain Schenk BKW Energie AG
	Martin Weibel Alpiq EnerTrans AG
	Toni Wunderlin (bis August 2015) Brugg Kabel AG
	Daniel Zeidler ABB Schweiz AG
Kontrollstelle	**Doris Joos** Elektrizitätswerk der Stadt Zürich
	Oliver Junker Axpo Power AG

[1] Mitglied mit beratender Stimme

3. FKH-Geschäftsstelle

Leiter	**Dr. Reinhold Bräunlich,** dipl. El.-Ing. ETH	braeunlich@fkh.ch
Stellvertreter	**Günther Storf,** dipl. El.-Ing. ETH	storf@fkh.ch
Sekretariat	**Saskia Wellner**	wellner@fkh.ch
Mitarbeiter	**Dr. Thomas Brügger** dipl. El.-Ing. ETH	bruegger@fkh.ch
	Dr. Vahe Der Houhanessian dipl. El.-Ing. ETH	houhanessian@fkh.ch
	Pascal Fehlmann, El.-Ing. FH	fehlmann@fkh.ch
	Peter Frey, Chemielaborant	frey@fkh.ch
	Diego Friedli, M.Sc. Elektrotechnik	friedli@fkh.ch
	Mario Gobeli, El.-Ing. FH	gobeli@fkh.ch
	Dr. Thomas Heizmann, dipl. El.-Ing. ETH Leiter Labor für Isolierölanalysen	heizmann@fkh.ch
	Adamo Mele, Elektromechaniker	mele@fkh.ch
	Simon Mutter, Energieelektroniker	mutter@fkh.ch
	Dr. Stefan Neuhold, dipl. El.-Ing. ETH	neuhold@fkh.ch
	Aldo Resenterra, Elektromonteur	resenterra@fkh.ch
	Franziska Schenker, Chemielaborantin	schenker@fkh.ch
	Markus von Arx, Elektromonteur	vonarx@fkh.ch
	Toni von Deschwanden, Elektromechaniker	deschwanden@fkh.ch
Betriebsstätten	**FKH-Geschäftsstelle** Voltastrasse 9 8044 Zürich	Tel. 044 253 6262 Fax 044 253 6260
	FKH-Versuchsstation 4658 Däniken	Tel. 062 288 7795 Fax 062 288 7794
	FKH-Labor für Isolierölanalysen 4658 Däniken	Tel. 062 288 7799 Fax 062 288 7790 Pikett 058 319 2060 trafo@fkh.ch
Kontaktadresse für die Westschweiz	**Pascal Fehlmann** Le Verney 10 1483 Montet (Broye)	Tel. 026 665 07 20 Natel 079 275 91 50 fehlmann@fkh.ch
Internet-Adresse	**www.fkh.ch**	

4. Personelle Veränderungen

Seit dem 1. Februar 2015 wird das Isolieröllabor vom neuen Leiter Dr. Thomas Heizmann geführt, welcher diese Aufgabe von Dr. Maik Koch übernommen hat.

Gleichzeitig konnte auch die freie Laborantenstelle besetzt werden. Neben Franziska Schenker wurde Herr Peter Frey als Laborant und Stellvertreter des Laborleiters ebenfalls am 1. Februar 2015 angestellt. Herr Frey war bereits in der Aufbauphase von 2004 bis 2008 als Laborant im Isolieröllabor der FKH tätig.

Abbildung 1 Erneuertes Team des Isolieröllabors (von links nach rechts): Peter Frey, Franziska Schenker, Thomas Heizmann

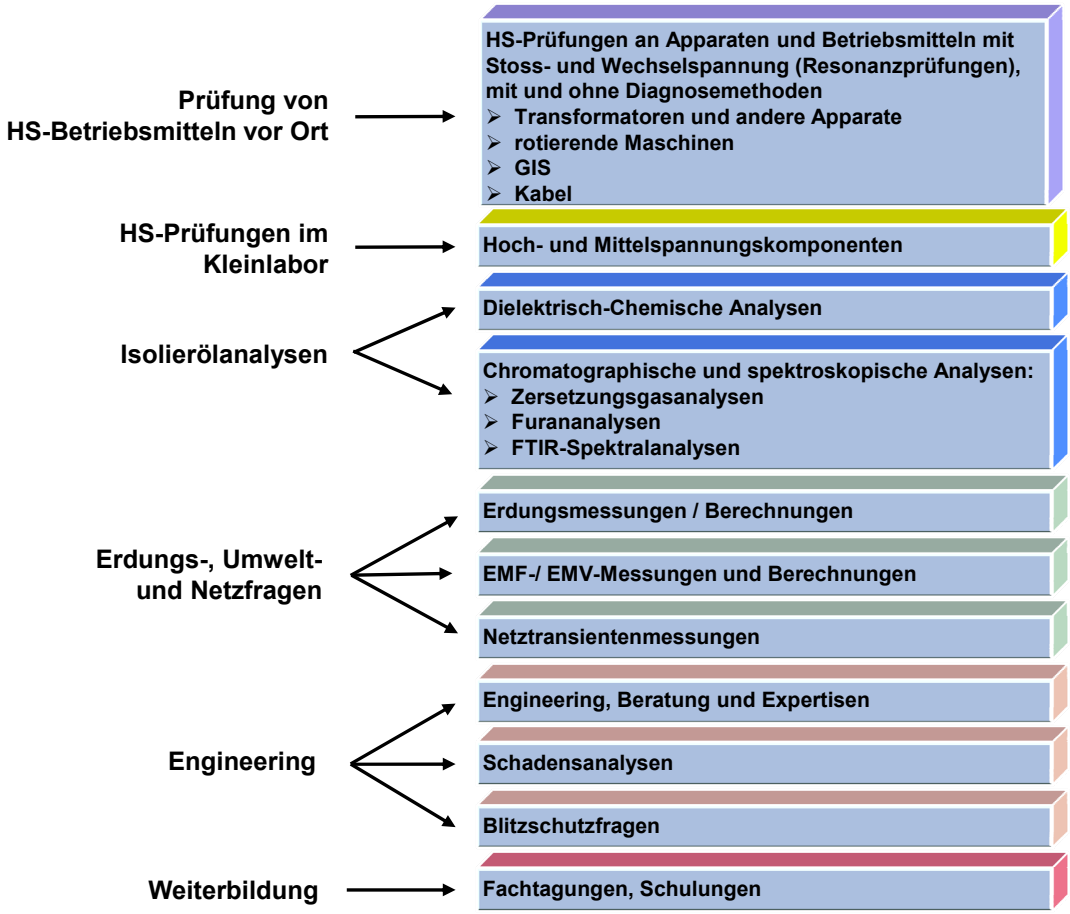
5. Dienstleistungen der FKH

Als neutrale Institution bietet die FKH ihren Mitgliedern und Kunden Dienstleistungen gemäss untenstehender Zusammenstellung an. Die FKH verfügt über eigene stationäre und mobile Hochspannungsprüfanlagen, Messeinrichtungen sowie über ein Prüflabor und ein Freiluftprüffeld.

Die angebotenen Dienstleistungen können vor Ort in elektrischen Anlagen, bei Apparate-Herstellern oder in der Versuchsstation Däniken ausgeführt werden.

Die wichtigsten Dienstleistungen der FKH sind in den Informationsbroschüren beschrieben. Die auf Anfrage erhältlichen Broschüren sind im Kapitel 15 des Jahresberichts aufgelistet. Sie können auch auf der Internetseite der FKH (www.fkh.ch) abgerufen werden.

Folgende Dienstleistungen bietet die FKH an:



6. Auftragsarbeiten, statistische Übersicht

Neben diversen Forschungs- und Entwicklungsprojekten wurden im Berichtsjahr 2015 insgesamt 185 Auftragsarbeiten und 188 Isolierölanalysen für FKH-Mitglieder und Dritte ausgeführt, mit welchen folgender Umsatz erzielt wurde (Angaben aus dem Vorjahr in Klammern, siehe auch Abbildung 1):

Erlös aus Auftragsarbeiten für FKH-Mitglieder *)	CHF	3'556'653.-	(2'475'212.-)
Erlös aus Auftragsarbeiten für Nichtmitglieder	CHF	1'068'134.-	(1'064'011.-)
Forschungs- und Entwicklungsarbeiten	CHF	-.-	(-.-)
Total gemäss FKH-Erfolgsrechnung 2015	CHF	**4'624'787.-**	(**3'539'223.-**)

*) Nettoerlös, 10% Mitgliederrabatt abgezogen.

Tabelle 1 Erlös aus Auftragsarbeiten

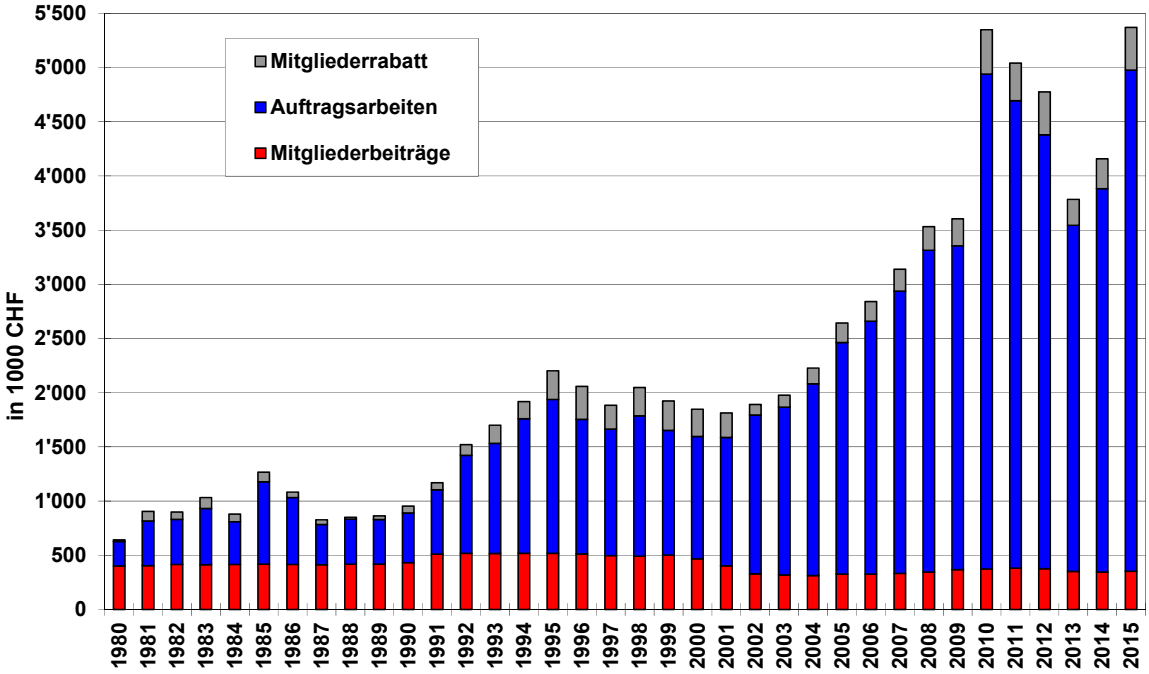


Abbildung 1 Erlös aus Auftragsarbeiten und Mitgliederbeiträgen, im Zeitraum von 1980 - 2015

Die Auftragstätigkeit der FKH-Arbeitsgruppe für Mitglieder und Dritte im Berichtsjahr 2015 kann folgenden Gebieten zugeordnet werden (prozentuale Verteilung bezogen auf den erzielten Nettoerlös, Angaben aus dem Vorjahr in Klammern):

Prüfung von Hochspannungs-Kabelanlagen	52%	(32%)
Diagnose von Hochspannungsapparaten (Transformatoren)	12%	(17%)
Prüfung von GIS oder GIL	8%	(18%)
Erdungsmessungen / Nachweis von Blitzschutzmassnahmen	5%	(8%)
Typprüfungen / Spezialversuche	4%	(3%)
EMF / Korona / EMV / Transiente Vorgänge im Netz und in HS-Anlagen	1%	(2%)
Beratungs- und Betreuungsaufgaben	0%	(2%)
Isolierölanalysen	17%	(18%)

Tabelle 2 Prozentuale Verteilung der Auftragsarbeiten im Jahr 2015 nach Dienstleistungssparten aufgeschlüsselt (Vorjahr in Klammern)

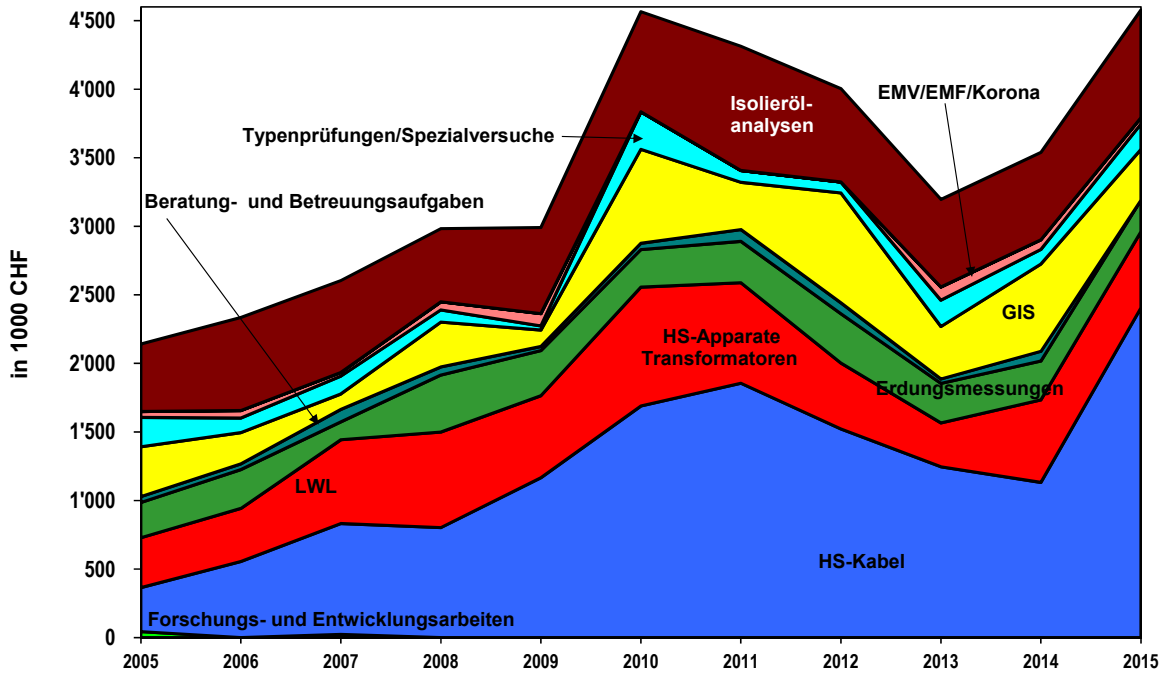


Abbildung 2 Entwicklung des Erlöses aus Auftragsarbeiten nach einzelnen Dienstleistungssparten (in CHF 1'000) über den Zeitraum von 2005 bis 2015

7. Ausgewählte Auftragsarbeiten

7.1 Kabelprüfung Tierfehd - Limmern

Im Zugangsstollen des sich im Bau befindenden Pumpspeicherkraftwerks Limmern der Axpo sind für den Austausch der Energie zur Schaltanlage in Tierfehd zwei 380-kV-Kabelsysteme verlegt worden. Der FKH wurde von Nexans der Auftrag erteilt, bei der Doppel-Kabelverbindung vor der Inbetriebsetzung eine Hochspannungsprüfung mit Teilentladungsmessung durchzuführen.

Kabeldaten:	Querschnitt:	1600 mm^2 Cu
	Isolation:	XLPE
	Trasseelänge:	4538 m
	Endverschlüsse:	SFY(TF) 1.420 (GIS)
	Muffen:	Crossbonding (pro Phase 8 Stück)
	Kapazität:	790 nF pro Phase

Die Prüfbedingungen wurden in Anlehnung der im Jahre 2005 mit Kabelspezialisten aus der Schweiz erarbeiteten Empfehlung festgelegt. Die Prüfspannung von 400 kV (1.8 U_0) musste während 15 Minuten angelegt werden. Anschliessend war die Teilentladungsfreiheit der Kabelisolation bei mindestens 1.5 U_0 nachzuweisen.

Obwohl die FKH in Hinblick auf diesen Auftrag ihre modulare Prüfanlage um zusätzliche Hochspannungsdrosseln erweitert hatte, mussten noch Komponenten zugemietet werden.

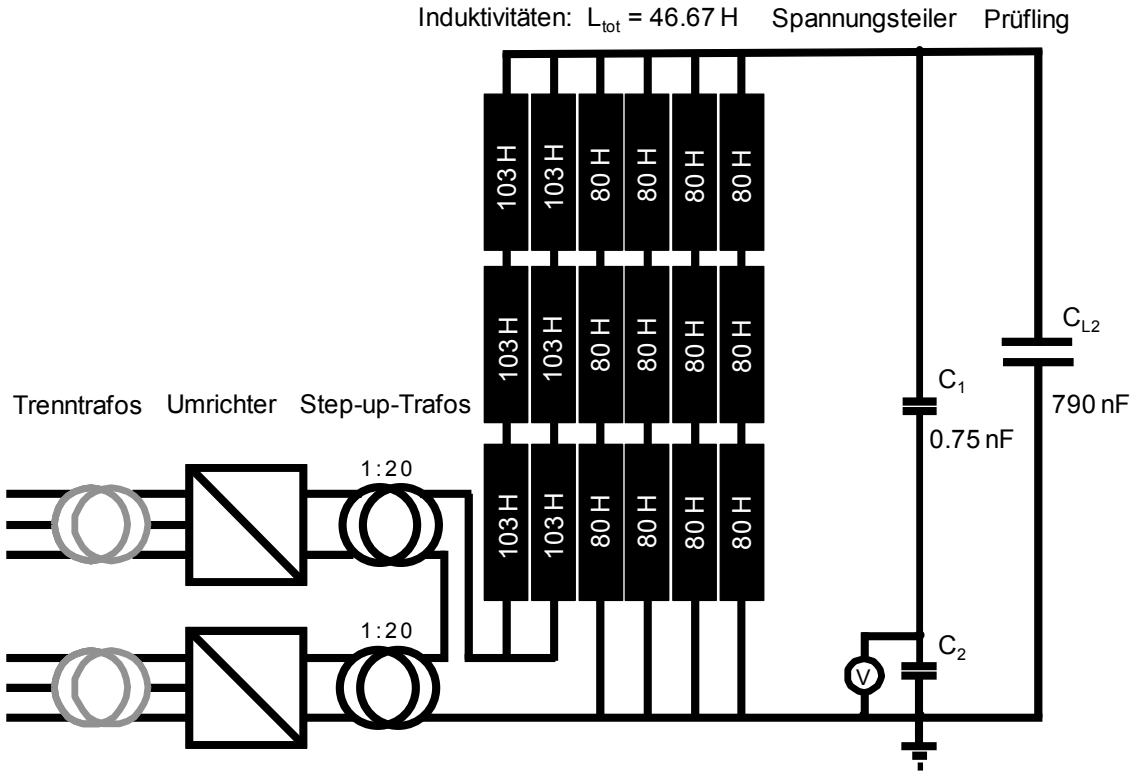


Abbildung 1 Schematische Darstellung der Prüfanlage

Für die Teilentladungsmessung musste der Prüfaufbau koronafrei sein, was unter Einsatz zahlreicher Schirmelektroden gelang.

Um eine ausreichende Empfindlichkeit bei der TE-Messung auf der gesamten Kabelstrecke sicherzustellen, waren alle Crossbonding-Muffen mit Sensoren ausgerüstet. Weil im Stollen, parallel zu den HS-Kabeln, ein LWL-Kabel installiert worden war, konnte

während den Prüfungen an allen zehn Messstellen die TE-Aktivität gleichzeitig kontrolliert werden.

Die Prüfungen konnten wunschgemäss vor Ostern 2015 erfolgreich abgeschlossen werden.

Abbildung 1 Prüfanlage im Unterwerk Tierfehd: koronafreie Spannungszuführung

Abbildung 2 Prüfanlage im Unterwerk Tierfehd: Drosselbatterie

Autor:
Günther Storf

Dip. El.-Ing. ETH
Stv. Geschäftsführer
Projektingenieur

7.2 Induzierte Spannungsprüfung an Netzkuppel-Transformatoren

Die FKH führte im Auftrag des Elektrizitätswerks der Stadt Zürich (EWZ) eine induzierte Spannungsprüfung mit dreiphasiger Erregung und Teilentladungsmessung am neu installierten 250-MVA-Phasenschieber-Transformator im UW Obfelden durch. Der Transformator besitzt Längsregelungswicklungen auf der 400-kV-Oberspannungebene, sowie Querregelungswicklungen auf der 220-kV-Mittelspannungebene. Ausserdem ist eine 24-kV-Unterspannungswicklung (Tertiärwicklung) integriert.

Abbildung 1 Phasenschiebertransformator im UW Obfelden

Die Erregung des Transformators erfolgte dreiphasig über die Unterspannungswicklungen (24-kV-Tertiärwicklungen) mit der neuen elektronischen Prüfquelle, bestehend aus einem Frequenz-Umrichter und einer aufwändigen Entstörfilterung (siehe Prüfschaltung in Abbildung 1).

Die vom Frequenz-Umrichter verursachten Hochfrequenz-Störungen wurden durch verschiedene Filter gedämpft, so dass bei der TE-Messung eine Empfindlichkeit (maximaler Grundstörpegel) von 5 pC auf der Unterspannungswicklungen erreicht werden konnte.

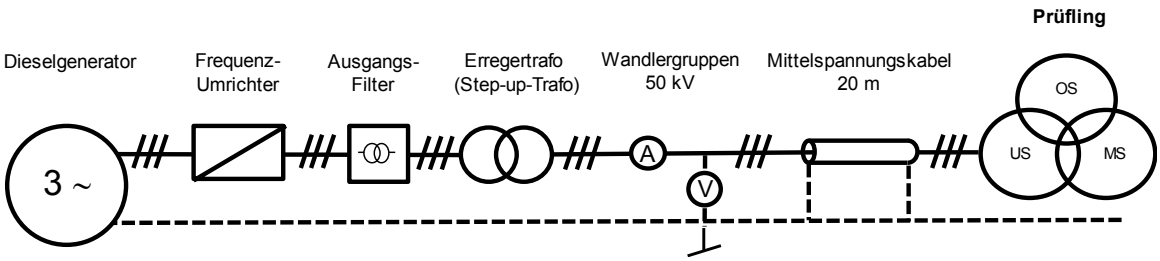


Abbildung 2 Schema der Prüfschaltung bei dreiphasiger Erregung mit einem Frequenz-Umrichter

Abbildung 3 zeigt einen anderen Prüffall, bei welchem die neue elektronische Prüfquelle eingesetzt wurde. Es handelte sich dabei um zwei Dreiphasen-Netzkuppel-Transformatoren, S: 75 MVA mit Stufenschalter OS: 132 kV / US: 50 kV. Da die Transformatoren keine Tertiärwicklung besitzen, mussten sie von der Unterspannungsseite her erregt werden. Hierfür wurde der Einsatz eines Spezialtransformators 400V/50kV notwendig.

Abbildung 3 Prüfaufbau an 75-MVA-Transformatoren 132 kV / 50 kV

Autor:
Pascal Fehlmann

Dipl. El.-Ing. FH
Projektingenieur

7.3 Numerische B-Feldberechnung von Kabelableitungen an Übergangsmasten, Untersuchung von Abschirmmassnahmen

Die NISV[1] schreibt für 50-Hz-Magnetfelder Immissionsgrenzwerte von 100 µT für Orte vor, an denen sich Menschen (auch nur kurzzeitig) aufhalten können, sowie Anlagengrenzwerte von 1 µT für Orte empfindlicher Nutzung (OMEN), wie z.B. Wohnräume, Schulräume oder Kinderspielplätze.

Bei Übergangsmasten von 110-kV-Freileitungen auf Kabelleitungen werden die Hochspannungskabel an den Masten herab bis in die Kabelrohrblöcke geführt. Knapp über dem Boden befinden sie sich im öffentlich zugänglichen Bereich und führen bei den üblichen thermischen Grenzströmen im Bereich von 1‘000 A zu magnetischen Flussdichtewerten, welche den Immissionsgrenzwert gemäss NISV von 100 µT überschreiten. Bei Messungen wurde festgestellt, dass die standardmässig angebrachten Blechverkleidungen um die Kabelableitungen z.T. unzureichend abschirmen und im Abstand von 20 cm den Immissionsgrenzwert nicht einhalten.

Abbildung 1 zeigt typische Querschnitte von Ableitungen eines 110-kV-Kabelsystems an einem Schleuderbetonmast in Reihe und im Dreieck angeordnet.

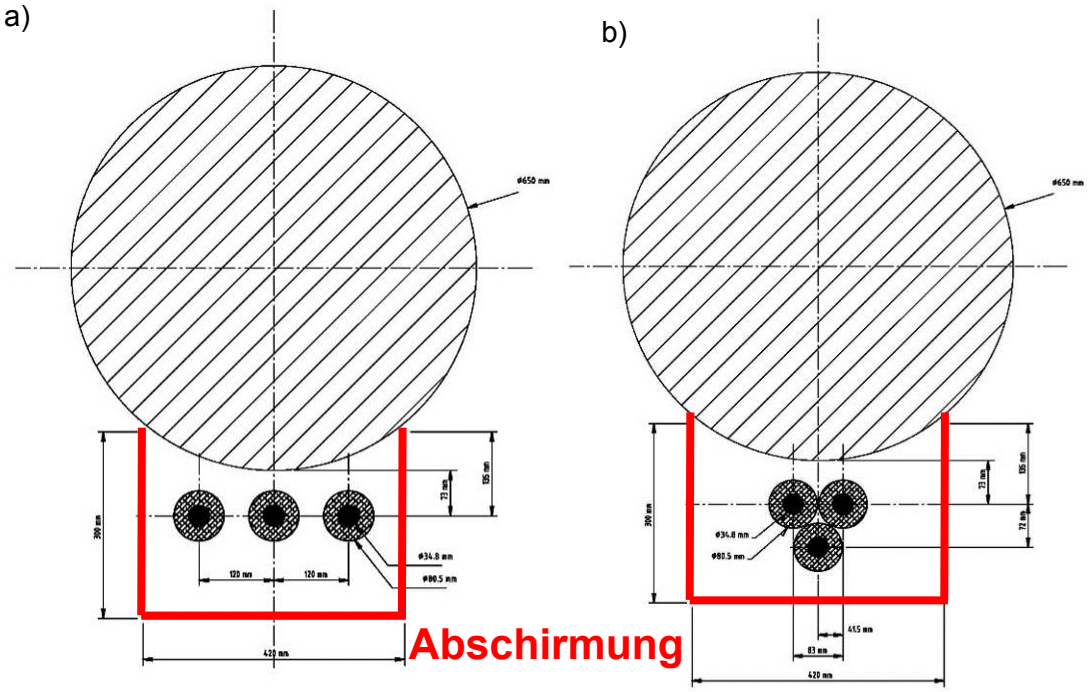


Abbildung 1 Schema der Kabelanordnung beim Kabelmast und Position der Abschirmung
a) Kabelphasen in Reihe
b) Kabelphasen in Dreiecksanordnung

Die FKH wurde von einem grossen Verteilnetzbetreiber beauftragt, verschiedene Varianten der Blechverkleidung bezüglich der abschirmenden Wirkung theoretisch zu untersuchen. Dabei sollte eine praktikable und ökonomische Lösung gefunden werden, mit welcher der Immissionsgrenzwert unter Verwendung von passiven Abschirmungen sicher eingehalten wird. Passive Abschirmungen verwenden entweder hochpermeable Materialien (z.B. µ-Metall), um den magnetischen Fluss gezielt zu führen, oder hochleitfähige Materialien (z.B. Aluminium), die das Magnetfeld durch Wirbelstromeffekte abschwächen (oder auch Materialkombinationen mit beiden Wirkungsprinzipien). Die

[1] Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung

Berechnung von Abschirmfaktoren passiver Magnetfeldschirmungen ist mathematisch anspruchsvoll und nur für einfache Geometrien analytisch lösbar. Im Fall von geschichteten Abschirmungen, die aus mehreren Lagen von einerseits hochpermeablen und andererseits hochleitfähigen Materialien zusammengesetzt sind, werden numerische Software-Tools verwendet, um die zu erwartende Schirmwirkung bei der Planung zu berechnen.

Abbildungen 2 und 3 zeigen die räumliche Verteilung der magnetischen Flussdichte bei Verwendung eines vergrösserten Schutzblechs aus Industrie-Aluminium, welches bereits eine ausreichende Schirmwirkung besitzt, so dass der Immissionsgrenzwert im zugänglichen Bereich eingehalten werden kann.

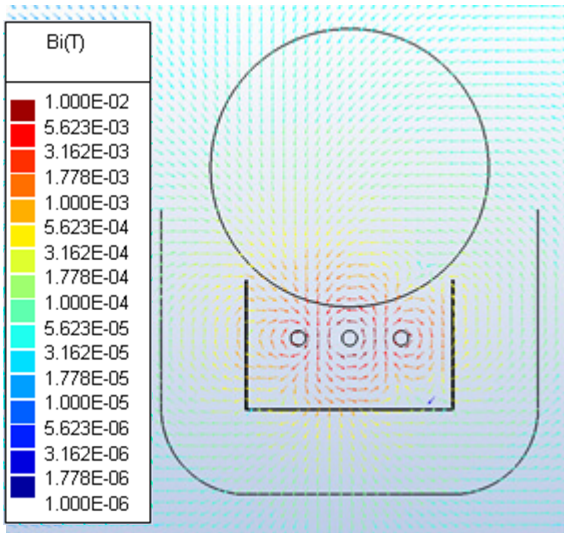


Abbildung 2 Berechnete magnetische Flussdichte bei Verwendung einer Schutzverkleidung aus Aluminium beim thermischem Grenzstrom. Die Pfeile zeigen die Feldrichtung zum Zeitpunkt des Strommaximums in der zentralen Phase. Die Farbkodierung dokumentiert den Effektivwert. Das Bild enthält eine Konturlinie in 20 cm Abstand von der Verkleidung.

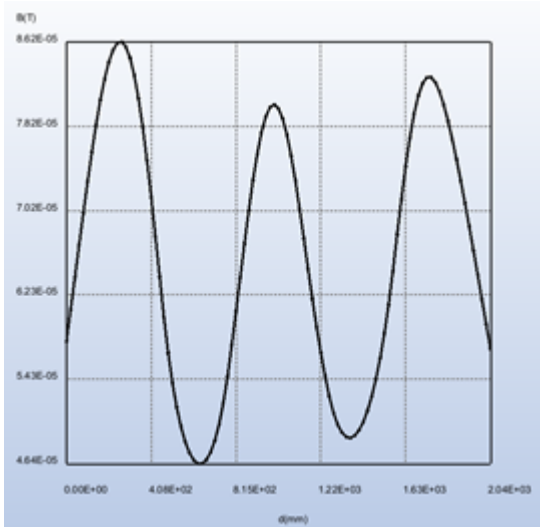


Abbildung 3 Verlauf der magnetischen Flussdichte entlang der Konturlinie von Abbildung 2 zur Beurteilung der Einhaltung des Immissionsgrenzwerts.

Autor:
Diego Friedli

M.Sc.Eng. HES-SO
Projektingenieur

7.4 Prüfung Generatorausleitungen Innertkirchen 1 KWO

Die FKH hat im November 2015 in der neuen Zentrale Innertkirchen 1E der KWO die gekapselte, luftisolierte Generatorausleitung zwischen dem neuen 150-MW-Generator und dem Maschinentransformator (der ebenfalls von der FKH geprüft wurde) einer Spannungsprüfung unterzogen.

Die Prüfungen umfassten Stehspannungsprüfungen mit 30.4 kV während einer Minute sowie Isolationswiderstandmessungen zwischen Leiter und Kapselung, resp. Kapselung und Anlagenerde. Die netzfrequente Prüfspannung wurde mit einem HS-Prüftransformator der FKH erzeugt und mit einem Mittelspannungskabel in die Anschlussklemmen der Ausleitung auf Seite des Maschinentransformators eingespeist. Für die Spannungsmessung wurde ein kapazitiver Spannungsteiler verwendet.

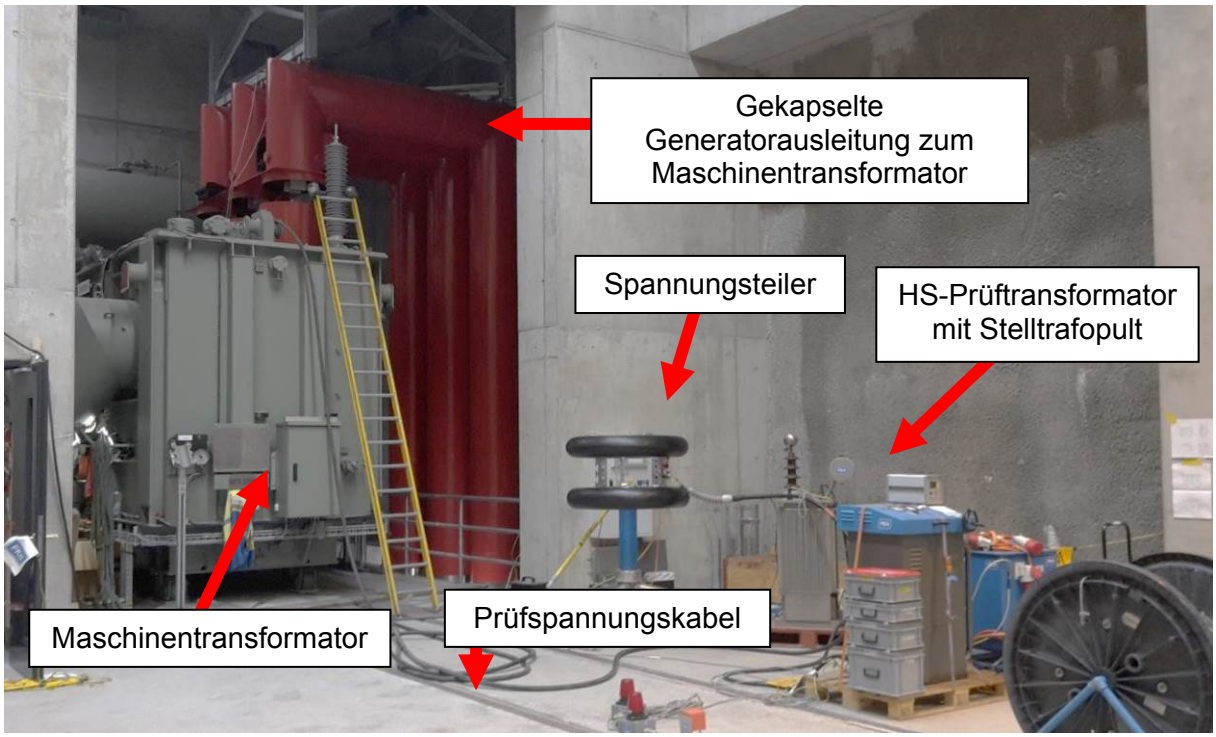


Abbildung 2 Prüfaufbau für die Spannungsprüfung der Generatorausleitung in Innertkirchen 1

Autor:
Thomas Brügger

Dr. sc. ETH
Projektingenieur

7.5 Prüfung der ersten GIS mit Ketonen als Isoliermedium

Die FKH durfte im Auftrag des Elektrizitätswerks der Stadt Zürich (EWZ) die erste 170-kV- und 24-kV-GIS mit alternativem Isolationsmedium prüfen. Aufgrund des hohen Treibhauspotentials werden seit längerem Alternativen für SF_6 als Isoliermedium gesucht. Im Unterwerk Oerlikon wurde nun erstmalig ein klimafreundliches alternatives Gasgemisch basierend auf Perfluor Ketonen eingesetzt.

Die nachfolgend näher betrachtete 170-kV-GIS besteht aus 7 Feldern mit Einfach-Sammelschiene und einer doppelten Sammelschienen-Längstrennung.

Eine integrale Hochspannungsprüfung von Systemen verfolgt das Ziel, nach abgeschlossenem Test keine bereits geprüften Anlagenteile wieder zu öffnen. Eine nachträgliche Öffnung birgt immer das Risiko, dass wieder Partikel in die Anlage gelangen können, welche das Isolationsniveau der GIS-Anlage senken.

Die gängige Praxis bei Anlagenprüfungen ist es, die mehrmalige Belastung von Anlagenteilen mit Prüfspannungen auf ein Minimum zu beschränken. Mit diesem Hintergrund wurde die Einspeisung der Prüfspannung mit einem Prüfkabel an den Buchsen für die steckbaren Kabelabgänge der GIS vorgenommen. Durch einfaches Umlegen des Prüfkabels an einen anderen Kabelabgang konnte die gesamte GIS in 2 Prüfabschnitten geprüft werden, ohne dass Anlagenteile mehrmals geprüft wurden. Auch mussten nach der Hochspannungsprüfung der GIS keine Gasräume mehr geöffnet werden. Abbildung 1 zeigt den Aufbau des Hochspannungsprüfsets sowie die Anwendung des Prüfkabels:

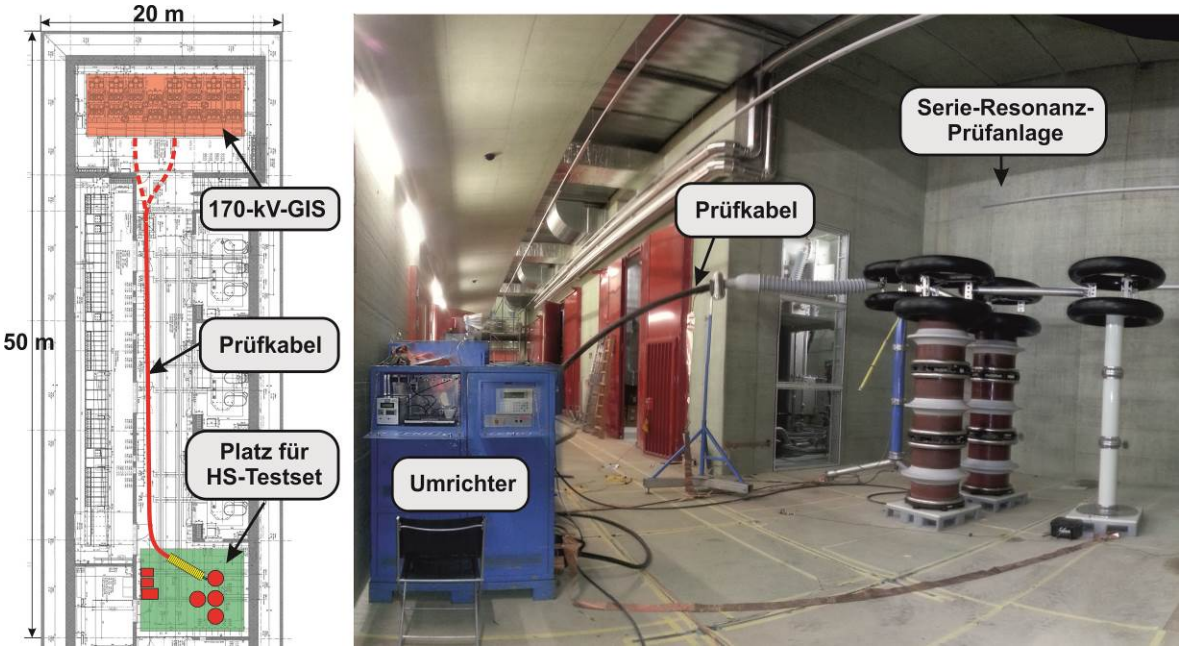


Abbildung 1 UW Oerlikon Neu, ewz, Aufbau des HS-Prüfsets; Anschluss des Prüfkabels

Durch die Verwendung eines Serie-Resonanz-Testsets mit angewandten Prüffrequenzen oberhalb 100 Hz konnten die Spannungswandler mitgeprüft werden. Das Prinzip der integralen Prüfung wurde übrigens auch bei der Prüfung der Transformatorkabel angewandt. Diese wurden im gesteckten Zustand (GIS) und offenem Link (Transformator) via Prüfkabel über die GIS geprüft.

Aufgrund der Forderung nach höchstmöglicher Verfügbarkeit wurden für die abschliessenden Inbetriebnahme-Prüfungen vor Ort strenge Kriterien angewandt. Die GIS Anlage für eine maximalen verketteten Betriebsspannung von 170 kV (Um) wurde mit 325 kV / 1 Minute geprüft (100% der IEC-Werksprüfspannung).

Die TE-Messung wurde in Anlehnung an die Empfehlungen der CIGRE[1] etwas angepasst an die üblichen IEC-TE-Messpegel[2] für nicht starr geerdete GIS bei 204 kV (1.2 Um) durchgeführt. Die Dauer der Prüfung betrug 30 Minuten, um auch mögliche Defekte mit Zündverzug zu detektieren. Als TE-Messmethode wurde die UHF-Schmalband-Methode mit visueller Selektion der Messfrequenz gewählt. Sie gilt als die empfindlichste UHF-TE-Messmethode.

Ausführliche Informationen zum Hintergrund, zur Montage sowie zu den ersten Betriebserfahrungen wurden im Beitrag von Pascal Müller et al.[3] am HS-Symposium 2016 in Stuttgart publiziert.

Autor:
Stefan Neuhold

Dr. sc. ETH
Projektingenieur

[1] CIGRE Joint Working Group 33/23.12 Insulation co-ordination of GIS; return of experience on site tests and diagnostic techniques; Electra No 176, Februar 1998

[2] IEC 62271-203; High-voltage switchgear and controlgear – Part 203: Gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages above 52 kV; International Standard; First edition 2003-11

[3] Müller P., Thelar D., Diggelmann T., Hengstler J., Hyrenbach M., Zache S., Mann M., Neuhold S.; Betriebserfahrung der ersten 170-kV- und 24-kV-GIS mit alternativem Isolationsmedium basierend auf Ketonen; Suttgarter Hochspannungs-Symposium 2016

8. F&E – Arbeiten

8.1 Hybrid HVAC / HVDC Overhead Lines in Switzerland

Die FKH ist zusammen mit EVUs und Netzbetriebsmittelherstellern Partner an einem Projekt unter der Leitung von Prof. Christian Franck der Fachgruppe Hochspannungstechnik der ETH Zürich beteiligt, welches der Frage der Integration von Gleichspannungsübertragung in das Hochspannungsnetz ohne neue Leitungstrassen nachgeht. Das vom Nationalfonds unterstützte Projekt NFP 70 setzt sich mit den technischen und wirtschaftlichen Problemen der Realisierung einer Hochspannungs-Hybrid-Freileitung auseinander, bei welcher ein Gleichspannungsübertragungssystem gemeinsam mit Wechselspannungs-Dreiphasensystemen am gleichen Mast betrieben wird.

Die FKH arbeitet gemeinsam mit der Fachgruppe Hochspannungstechnik an einem Experiment, welches in der Versuchsstation in Däniken aufgebaut wird. Mit der Versuchsanordnung soll die gegenseitige Beeinflussung von benachbarten Leiterseilen auf Gleich- und Wechselspannung im längeren Versuchsbetrieb studiert werden. Im geplanten Versuchsaufbau wird ein Phasenbündel mit Wechselspannung und eines mit Gleichspannung bei unterschiedlichen Wetterbedingungen betrieben, wobei Bündelgeometrie, Abstand und Spannungshöhe variiert werden können (Abbildung 1).

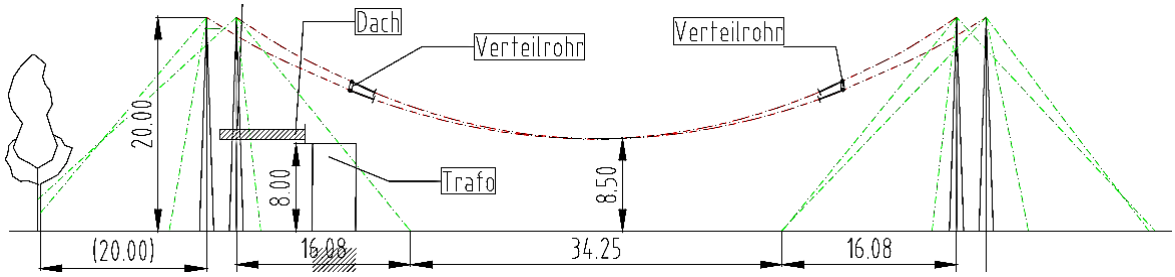


Abbildung 1 Geplanter Versuchsaufbau in der FKH-Versuchsstation Däniken für ein einphasiges Modell einer AC/DC-Hybrid-Freileitung

Autor:
Reinhold Bräunlich

Dr. sc. techn. ETH
Geschäftsführer

8.2 Neues Diagnoseverfahren für die Statorisolation von Hydrogeneratoren

Eine Umfrage der Cigré[1] bei Betreibern von insgesamt 1‘199 Hydrogeneratoren ergab, dass Fehler der Statorisolation über die Hälfte der Maschinenschäden ausmachen (Abbildung 1). Für den Betreiber sind solche ungeplanten Standzeiten aufgrund der damit verbundenen Produktionsausfälle äusserst kostspielig. Aussagekräftige Diagnosemethoden sind deshalb von grosser Bedeutung, speziell bei einer zustandsorientierten Wartungsstrategie.

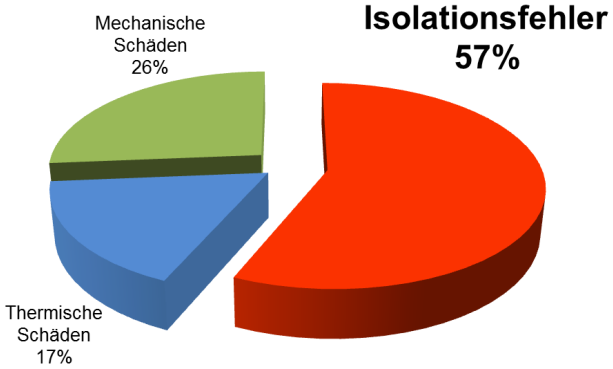


Abbildung 1 Verteilung von Schadensursachen bei Hydrogeneratoren (Quelle: Cigré[1])

Das vom PSEL unterstützte Forschungsprojekt der FKH soll klären, wie sich die Messung von Teilentladungen an der Statorisolation von Hydrogeneratoren mit einer VLF-Prüfquelle (Very Low Frequency, 0.1 Hz) im Vergleich zu konventionellen Prüfspannungsfrequenzen (Netzfrequenz bzw. variable Prüffrequenz ca. 10 – 200 Hz) verhält. Dabei soll insbesondere die Frage beantwortet werden, ob durch die um zwei Grössenordnungen tiefere VLF-Prüffrequenz und der damit erwarteten kleineren Anzahl von TE-Ereignissen weniger Überlagerungen von Einzel-TE-Stromimpulsen auftreten, was die Interpretation von Diagnoseergebnissen vereinfachen würde. Dazu wird das Forschungsprojekt auch klären, wie sich die TE-Aktivität in der Isolation bei der VLF-Prüffrequenz verändert. Durch den Wechsel auf sehr tiefe Prüffrequenzen wird das Verhältnis der Periodenzeit zu den Relaxationszeitkonstanten in der Isolation verändert. Durch Auswertung der Prüffrequenzabhängigkeit der TE-Impulshäufigkeit und Phasenlage soll eine Verbesserung der Fehlerselektivität bei TE-Befunden erreicht werden.

Ein Vorteil der VLF-Prüfspannung ist ausserdem, dass sie von sehr kompakten Quellen erzeugt werden kann. Tabelle 1 fasst die nötigen Prüfleistungen und das ungefähre Gewicht von Prüfquellen in Abhängigkeit der Prüffrequenz zusammen.

Prüffrequenz [Hz]	Scheinleistung [VA]	Gewicht Prüfquelle, ca. [kg]
0.1	30	10
1	300	100
50	15‘000	1’000

Tabelle 1 Nötige Prüfleistung und ungefähres Gewicht der Prüfquelle für eine Statorwicklung mit einer Gesamtkapazität von 0.5 µF bei U_P = 10 kV

[1] CIGRE WORKING GROUP A1.10: *Survey of Hydrogenerator Failures*, Technical Brochure no. 392, October 2009.

Im Laufe der Untersuchung wurden bis anhin an drei Hydrogenerator-Statoren VLF-TE-Messungen durchgeführt und mit 50-Hz-Messungen verglichen. Die bisher gewonnen Erkenntnisse wurden, zusammen mit einer Übersicht über die Entwicklungspotentiale von anderen gängigen Diagnosemethoden (C-Tanδ, PDC), in der Novemberausgabe des SEV-Bulletins publiziert[1].

In Abbildung 2 sind die TE-Muster eines Isolationsfehlers zu sehen, der im Bereich der Spannungsnulldurchgänge zu charakteristischen Entladungen führt. Wie erwartet, traten bei der VLF-Prüfung weniger TE auf, was zum einen an der im Vergleich zur 50-Hz-Messung wesentlich kleineren Anzahl Spannungsperioden in den verglichenen Messintervallen liegt. Zum anderen nimmt der ohmsche Anteil im Isolationsstrom gegenüber dem dielektrischen Verschiebungsstrom deutlich zu, was je nach Fehlertyp auf das Teilentladungsverhalten einen grossen Einfluss hat.

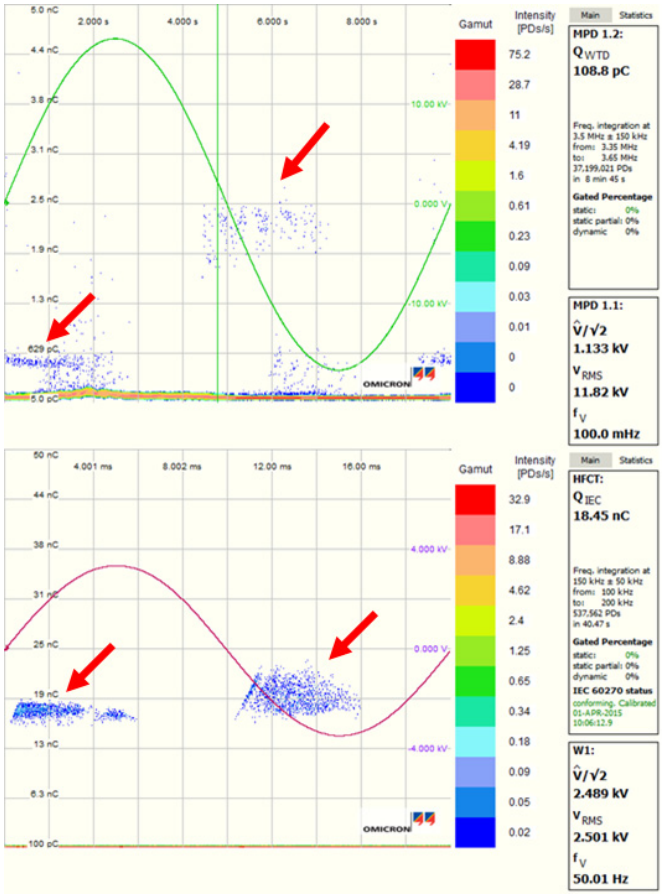


Abbildung 2 Vergleich einer VLF-TE-Messung mit 100 mHz (oben) mit einer betriebsfrequenten Messung mit 50 Hz (unten) (Quelle: FKH)

Autor:
Thomas Brügger

Dr. sc. ETH
Projektingenieur

[1] T. Brügger: Statordiagnose bei Hydrogeneratoren – Entwicklungspotenzial elektrischer Methoden, Bulletin SEV/VSE, November, 2015

8.3 Untersuchung des Ausbreitungsverhalten von Teilentladungs-impulsen in der Statorwicklung von Hydrogeneratoren

Die FKH ist an einem Gemeinschaftsprojekt mit den Partnern BKW Energie AG, Omicron AG, Andritz Hydro AG und Vorarlberger Illwerke AG beteiligt, welches sich mit der Ausbreitung von Teilentladungsimpulsen in Statorwicklungen von Hydrogeneratoren beschäftigt. Teile der wissenschaftlichen Untersuchungen in diesem Projekt werden im Rahmen einer Dissertationsarbeit (Herr Daniel Riesen) durchgeführt, welche durch Dr. Thomas Brügger FKH mitbetreut wird. Die bisher gewonnen Erkenntnisse wurden anfangs März 2016 am Stuttgarter Hochspannnungssymposium präsentiert [1][1].

Ziel der Arbeit ist, das Wissen über die Signalübertragung von TE-Impulsen von Isolations-Fehlerstellen in der Wicklung bis zu den für die konventionelle TE-Messung zugänglichen Wicklungsklemmen zu erweitern. Die Ausbreitung der Impulse wird durch die komplexen Dämpfungs-, Reflexions- und Kopplungsmechanismen bestimmt, die sich im RLC-Netzwerk der Statorwicklung ergeben. Teil der Arbeit sind Messungen an einem stillgelegten 100-MVA-Hydrogenerator. Bei der Statorwicklung können an verschiedenen Stellen definierte Ladungsmengen eines TE-Kalibrators direkt in den Phasenleiter ein-gespeist werden (Abbildung 3).

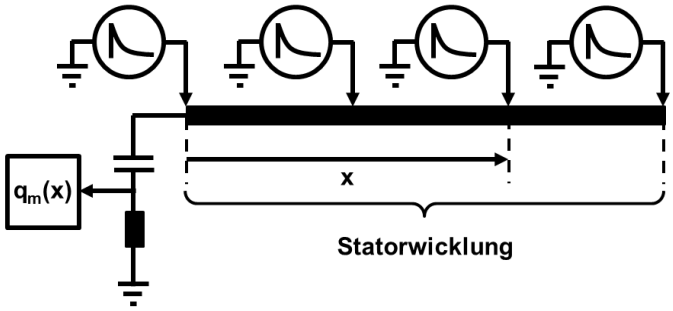


Abbildung 3 Einspeisung von definierten Ladungsmengen an verschiedenen Stellen der Statorwicklung, Messung der scheinbaren Ladung q_m in Abhängigkeit der Einspeisestelle (Quelle: [1])

Ebenfalls wird die Übertragungsfunktion zwischen den verschiedenen Einspeisestellen und den Klemmen mit einem kommerziellen FRA-Analysator bestimmt. Die Arbeit hat bereits gezeigt, wie durch TE-Messung mit verschiedenen Filter-Mittenfrequenzen eine grobe Ortung der Fehler- bzw. Einspeisestelle in der Wicklung möglich ist und liefert damit einen wichtigen Beitrag zur effizienten Isolationsdiagnose an Hydrogeneratoren.

Autor:
Thomas Brügger

Dr. sc. ETH
Projektingenieur

[1] F. Öttl, M. Krüger, E. Binder, J. Fuhr, D. Riesen, B. Storr, J. Pöschl, T. Kessler, B. Bittner: Eine Untersuchung zum Ausbreitungsverhalten von Teilentladungs-impulsen in der Hochspannungswicklung rotierender elektrischer Maschinen, Tagungsband Stuttgarter Hochspannungs-symposium 2016, ISBN 978-3-00-052179-9

9. FKH-Labor für Isolierölanalysen

9.1 Besondere Projekte und Auftragsarbeiten

Trotz den personellen Änderungen mit entsprechenden Einarbeitszeiten konnten im vergangenen Jahr über 1200 Proben analysiert und die Berichte fristgerecht den Kunden geliefert werden.

Im Berichtsjahr wurden alle wesentlichen Teile der Auftragsabwicklung in das Laborinformationssystem integriert. Im Sinne der Qualitätssicherung sind auch alle Vorgänge zurückverfolgbar.

Neben den standardisierten Analysen von Mineralölen konnten auch einige Prüfungen von Ester-Isolierflüssigkeiten und festen Isolierstoffen (Wasserbestimmung in imprägniertem Papier) durchgeführt werden. Im Rahmen eines grösseren Auftrags wurde die Kompatibilität eines synthetischen Esters mit verschiedenen polymeren Isolierstoffen durch Alterungsversuche getestet.

9.2 Mess- und Analysegeräte

Im Berichtsjahr wurde vom Vorstand eine Investitionstranche zur Beschaffung eines Headspace-Gaschromatographie-Systems freigegeben. Bei diesem Verfahren zur Zersetzungsgasanalyse wird eine kleine Ölmenge in ein gasdicht verschlossenes Probefläschen (sog. „Vial“) eingefüllt. Das Probefläschchen wird dann während ca. 20 min bei 70 °C geschüttelt, bis sich zwischen dem Öl und dem Gasraum oberhalb des Öls („head space“) ein Gleichgewicht der im Öl gelösten Gase gebildet hat. Dieses Gas wird mit einer Nadel abgesaugt und dem Gaschromatographen zugeführt. Einer der grössten Vorteile des Verfahrens ist, dass bis zu 111 befüllte Probefläschen automatisch mit einem Probengeber analysiert werden könnten. Das neue System wird in den ersten Monaten des Jahres 2016 in Betrieb genommen werden.

Die Bestimmung der Farbzahl erfolgte bis anhin von Auge mit der Farbtafel aus dem VDEW-Ölbuch. Um eine bessere Reproduzierbarkeit zu erreichen, wurde ein elektronischer Colorimeter angeschafft. Dieser kann nicht nur Mineralöle, sondern auch die viel helleren Silikon- und Esterflüssigkeiten nach den jeweilig gültigen Normen analysieren.

9.3 Akkreditierung

Die 2012 erworbene Akkreditierung gemäss ISO/IEC 17025 als “Prüfstelle Typ B für Isolieröl und Buchholz-Gas“ durch die Schweizerische Akkreditierungsstelle SAS konnte durch erfolgreiche Audits verlängert werden. Damit bleibt unser in der Schweiz einzigartiges Mass an Qualität in Bezug auf Messgenauigkeit und Kompetenz auf dem Gebiet der Isolieröle und der Interpretation von Analyseresultaten gewahrt.

Autor:
Thomas Heizmann

Dr. sc.techn. ETH
Leiter Isolieröllabor

10. Fachtagung „Hochspannungs-Leistungsschalter“

Das Thema der FKH-Fachtagung am 24. November an der Hochschule für Technik in Rapperswil widmete sich den aktuellen industriellen Fortschritten im Hochspannungsleistungsschalterbau. Die wichtigsten Entwicklungen der letzten Jahre wurden von Vertretern der Herstellerfirmen vorgestellt. Die Netz- und Kraftwerksbetreiber berichteten über Betriebserfahrungen mit Leistungsschaltern und die daraus abzuleitenden Anforderungen an die Schaltgeräte. Schliesslich wurde auch auf die Fragen eingegangen, wie die steigenden Anforderungen erreicht und überprüft werden und wie die Betriebstüchtigkeit durch Instandhaltungsmassnahmen während einer möglichst langen Lebensdauer erhalten werden kann.

Die diesjährige Fachtagung wurde von rund 140 Teilnehmern besucht. Im Anschluss an die Fachtagung wurden die F&E-Aktivitäten des Hochspannungslabors an der HSR vorgestellt und es bestand die Möglichkeit, das Labor zu besichtigen.

Gehaltene Vorträge im Rahmen der Fachtagung	**Referent**
Einführung, Entwicklung von Hochspannungsschaltern	Christian Lindner, Axpo Power AG, Baden
Leistungsschalter in Kraftwerksanlagen: Konzepte und Betriebserfahrungen	Dr. Thomas Aschwanden, AF Engineers + Consultants (AFEC) GmbH, Iseltwald
Vakuumschaltröhren bei höheren Spannungen (72 kV / 145 kV)	Dr. Jörg Teichmann, Siemens AG, Berlin
420/550kV Single-Break, GIS-Schaltkammerdesign	Robert Lüscher, ALSTOM Grid GmbH, Oberentfelden
SF_6-freie Hochspannungs-Leistungsschalter	Dr. Walter Holaus, ABB Schweiz AG, Zürich
Gesteuertes Schalten und Monitoring	Dr. Michael Stanek, ABB Schweiz AG, Zürich
Zusammenspiel von Point-on-wave Steuerung mit Low-scattering Federspeicherantrieben für phasensynchrones Schalten	Dr. Michael Walter, ALSTOM Grid GmbH, Oberentfelden
Typprüfungen für Hochspannungs-Leistungsschalter	Dr. Radu-Marian Cernat, Siemens AG, Berlin

Die Präsentationen und Zusammenfassungen der Beiträge zu dieser Fachtagung sind auf unserer Internetseite einsehbar.

11. Zusammenarbeit mit Hochschulen / Nachwuchsförderung

11.1 Betreuung von Praktikumsarbeiten

Jan Kroneisl,
BSc Student in “Elektrotechnik, Energietechnik und Management”, an der Tschechischen Universität ČVUT, Prag
Herr Kroneisel arbeitete in unserem Büro der FKH in Zürich. Seine Hauptaufgabe bestand in der Erstellung eines Datenbanksystems der FKH für die Messergebnisse bei GIS-Prüfungen.

Betreuer: Dr. Stefan Neuhold

11.2 Abnahme von Diplomarbeiten

Dr. Reinhold Bräunlich hat folgende zwei Diplomarbeiten (verfasst von je vier Diplomanden) an der ABB-Technikerschule Baden als Experte begutachtet:

„Finales Layout der 100kV-Hochspannungszelle, In-Betriebnahme und Design von HV-Praktika“

und

„PACCUBE - Erarbeiten eines Praktikumsversuches zum Thema Distanzschutz mit Kommunikationsanbindung nach IEC60870“

11.3 Beiträge zu Lehrveranstaltungen

Vorlesung: „Hochspannungsprüftechnik vor Ort”, ETH Zürich im Rahmen der Lehrveranstaltung : „Technologie der Komponenten elektrischer Energiesysteme“, 8. Semester

Referent: Dr. Reinhold Bräunlich, 7. Mai 2015

11.4 Projektbegleitung

Fachliche Begleitung eines durch PSEL[1] unterstützten F&E-Projekts der ABB Technikerschule Baden im Auftrag des VSE „Einrichtung einer 100kV – Hochspannungszelle und Integration in das neue Ausbildungskonzept der ABB-HF“

[1] Projekt und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft

12. Teilnahme an Fachveranstaltungen, Referate, Publikationen

12.1 Teilnahme an Fachtagungen, Referate

Reinhold Bräunlich
ETG-Fachtagung „Aktuelle Entwicklungen in der elektrischen Traktion“,
Hotel Eden, 25. Juni 2015, Spiez

Reinhold Bräunlich
19th International Symposium on High Voltage Engineering, 23. – 28. August 2015,
University of West Bohemia, Pilsen

Thomas Brügger
Omicron Diagnosewoche, Feldkirch (A), 9. – 13. März 2015

Thomas Heizmann
CIGRE SC D1 JWG D1/A2.47 “New frontiers of DGA interpretations”, Lyon
18. – 19. November 2015

Günther Storf
Jicable’15 (9th Intenational Conference on Insulated Power Cables), Versaille,
21. – 25. Juni 2015

Günther Storf
Vortrag bei der Axpo Power zum Thema „Hochspannungsprüfungen von Kabeln bei Axpo“, 30. Oktober 2015

Vahe Der Houhanessian
Vortrag: Erfahrungen mit Teilentladungsmessungen an betriebsgealterten Giessharz- und ölisolierten Messwandlern, Omicron Diagnosewoche, Feldkirch (A), 9. – 13. März 2015

12.2 Publikationen

Th. Brügger
“ Statordiagnose bei Hydrogeneratoren – Entwicklungspotenzial elektrischer Methoden”,
Bulletin SEV/VSE, 11-2015, S46ff

M. Hering, J. Speck, S. Großmann, U. Riechert, S. M. Neuhold
“Detection of particles on the insulator surface in gas insulated DC systems”
Highvolt Kolloquium 2015, Paper 1.3

M. Koch, Th. Heizmann
“Experiences with Application, Diagnostic Value and Impact on Asset Management of Insulation Oil”
The 19th International Symposium on High Voltage Engineering, Pilsen, Czech Republic, 23. – 28. August 2015

G. Behrmann, K. Wyss, J. Weiss, M. Schraudolph, S. M. Neuhold, J. Smajic
„Signal Delay Effects of Solid Dielectrics on Time-of-Flight Measurements in GIS“
Publikation eingereicht bei IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Veröffentlichung Juni 2016

13. Mitgliedschaft / Mitarbeit in Fachgremien und Kommissionen

Die FKH ist bei folgenden Institutionen als Mitglied eingetragen:

Electrosuisse

Institutionelles Mitglied bei Electrosuisse

Forschungsgemeinschaft für Hochspannungs- und Hochstromtechnik (FGH) e.V., Mannheim

Korrespondierendes Mitglied bei der FGH.

Förderkreis "Blitzschutz und Blitzforschung" des VDE, Frankfurt am Main

Mitglied im Förderkreis des ABB (Ausschuss Blitzschutz und Blitzforschung).

Die FKH ist bei folgenden nationalen und internationalen Fachgremien vertreten:

CES electrosuisse TK "Erdungssysteme"
Mitglied: Günther Storf (Vorsitzender)

CES electrosuisse TK 2: “Elektrische Maschinen”
Mitglied: Thomas Brügger

CES/ SEV electrosuisse TK 10: "Flüssigkeiten für elektronische Anwendungen"
Mitglied: Thomas Heizmann (Vorsitzender)

CES electrosuisse TK 14: “Transformatoren”
Mitglied: Pascal Fehlmann

CES electrosuisse TK 20: "Elektrische Kabel"
Mitglied: Günther Storf, Mario Gobeli

CES electrosuisse TK 38, WG 1: "Messwandler, Ferroresonanz"
Mitglied: Reinhold Bräunlich

CES electrosuisse TK 42: "Hochspannungs- und Hochstrom-Prüftechnik"
Mitglied: Reinhold Bräunlich

CIGRE MT20: „Maintenance of IEC 60599“
Mitglied: Thomas Heizmann

CIGRE WG 21: „ Maintenance of IEC 60422“
Mitglied: Thomas Heizmann

CIGRE WG 21: „Revision of IEC 60296“
Mitglied: Thomas Heizmann

CIGRE WG D1.25: „Review of UHF and acoustic PD detection on GIS“
Mitglied: Stefan Neuhold

CIGRE WG D1.63: „Partial discharge detection under DC Voltage Stress“
Mitglied: Stefan Neuhold

CIGRE WG D1.51: „Dielectric performance of Eco-friendly Gas Insulated Systems“
Mitglied: Stefan Neuhold

CIGRE JWG D1/B3.57: „Dielectric Testing of Gas-Insulated HVDC Systems“
Mitglied: Stefan Neuhold

14. FKH-Mitglieder

14.1 Verbände

Electrosuisse
8320 Fehraltorf

Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE)
5001 Aarau

14.2 Werksmitglieder

Aare Energie AG
4601 Olten

AEW ENERGIE AG
5001 Aarau

AG Kraftwerk Wägital
8854 Siebnen

Alpiq EnerTrans AG
5013 Niedergösgen

Axpo Power AG
5401 Baden

Azienda Elettrica Ticinese
6501 Bellinzona

Aziende Industriali della città di Lugano
6901 Lugano

BKW Energie AG
3013 Bern

CKW AG
6002 Luzern

EBM Netz AG
4142 Münchenstein

EKT AG
9320 Arbon

Elektrizitätswerk der Stadt Zürich
8050 Zürich

Elektrizitätswerke des Kantons Zürich
8022 Zürich

Energie-Service Biel/Bienne
2504 Biel

Energie Wasser Bern
3001 Bern

ewl energie wasser luzern
6002 Luzern

GROUPE E SA
1701 Fribourg

IBAarau Strom AG
5001 Aarau

Industrielle Werke Basel
4053 Basel

Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG
4658 Däniken

Kraftwerke Hinterrhein AG
7430 Thusis

Kraftwerke Oberhasli AG
3862 Innertkirchen

onyx Energie Netze
4901 Langenthal

Sankt Galler Stadtwerke
9001 St. Gallen

SBB Energie
3052 Zollikofen

Service de l'Electricité de la Ville de Lausanne
1000 Lausanne 9

Services Industriels de Genève SIG
1211 Genève 2

St. Gallisch-Appenz. Kraftwerke AG
9001 St. Gallen

Swissgrid AG
5070 Frick

Stadtwerk Winterthur
8402 Winterthur

Verzasca SA
6901 Lugano

14.3 Industriemitglieder, Ingenieurbüros und weitere Mitglieder

ABB Schweiz AG
8050 Zürich

ABB Sécheron SA
1211 Genève 2

Agea - Kull AG
4552 Derendingen

Alpha Elektrotechnik AG
2560 Nidau

Arnold AG, Energie&Telecom
3072 Ostermundigen

BCP Busarello+Cott+Partner AG
8703 Erlenbach

Brugg Kabel AG
5200 Brugg

EA Elektroarmaturen AG
8200 Schaffhausen

EcoWatt Projects AG
8852 Altendorf

Eidgenössisches Starkstrominspektorat
8320 Fehraltorf

GE Grid (Switzerland) GmbH
5036 Oberentfelden

Haefely Test AG
4052 Basel

LEONI Studer AG
4658 Däniken

Maxwell Technologies SA
1728 Rossens

Mohaupt High Voltage GmbH
A- 6142 Mieders

Nexans Suisse SA
2016 Cortaillod

OMICRON electronics GmbH
A-6833 Klaus

Pfiffner Messwandler AG
5042 Hirschthal

Pfisterer Ixosil AG
6460 Altdorf

Pöyry Schweiz AG
8048 Zürich

Retranol GmbH
8810 Horgen

Siemens Schweiz AG
8047 Zürich

VAPEC AG
8304 Wallisellen

Weidmann Electrical Technology AG
8640 Rapperswil

14.4 Korrespondierende Mitglieder

Berner Fachhochschule
3400 Burgdorf

Ecole d'Ingénieurs de l'Etat de Vaud
1400 Yverdon-les-Bains

Ecole d'Ingénieurs et d'Architectes de Fribourg
1705 Fribourg

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
1015 Lausanne

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
FG Hochspannungstechnologie
8092 Zürich

Forschungsgemeinschaft für Hochspannungs- und Hochstromtechnik E.V.
D-68201 Mannheim

Haute Ecole Valaisanne
1950 Sion

Hochschule für Technik + Architektur Chur
7000 Chur

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW
8401 Winterthur

14.5 Neue Mitglieder

An der Mitgliederversammlung vom 13. Mai 2015 wurde dem Mitgliedschaftsantrag von folgendem Unternehmen zugestimmt:

Industrielle Werke Basel
Margarethenstrasse 40
4002 Basel

Wir freuen uns auf eine gute Zusammenarbeit und danken für das Vertrauen.

14.6 Mitgliederbestand per 31.12.2015

Verbände	2	(2)
Werksmitglieder	31	(30)
Industriemitglieder, Ingenieurbüros und weitere Mitglieder	24	(24)
Korrespondierende Mitglieder	9	(9)
Total Mitglieder per 31. Dezember 2015	**66**	(65)

(Stand per 31.12.2014 in Klammern)

15. Informationsbroschüren der FKH

- FKH Portrait
- Leistungstransformator-Diagnose
- Kabelprüfungen
- Erdungsmessungen
- GIS – Prüfungen
- Isolierölanalysen
- Berechnungsmethoden für die elektrische Energietechnik

Die Broschüren stehen zum Download auf der Internetseite der FKH zur Verfügung (www.fkh.ch). Auf Wunsch stellen wir Ihnen die Informationen auch als Broschüren zu.

16. Zufahrtspläne für die FKH-Standorte

16.1 FKH-Geschäftsstelle, Voltastrasse 9, 8044 Zürich

16.2 FKH-Versuchsstation und –Isolieröllabor, 4658 Däniken