



Fachkommission für Hochspannungsfragen

Commission d'étude des questions relatives à la haute tension



JAHRESBERICHT 2005

Inhalt:	Seite
1. Vorwort des Präsidenten und des Geschäftsleiters.....	3
2. Struktur und Leitbild der FKH	5
3. FKH-Vorstand	8
4. FKH-Arbeitsgruppe	10
5. Dienstleistungen der FKH	11
6. Auftragsarbeiten und statistische Übersicht	12
7. Informationsbroschüren.....	12
8. Ausgewählte Auftragsarbeiten	14
9. FKH-Labor für Isolierölanalysen	20
10. Entwicklungen und Investitionen	21
11. Forschungsprojekte mit Drittmitteln	25
12. FKH-Fachtagung 2005	27
13. Zusammenarbeit mit Hochschulen / Nachwuchsförderung.....	29
14. Teilnahme an Fachveranstaltungen, Referate, Publikationen	30
15. Mitgliedschaft / Mitarbeit in Fachgremien und Kommissionen.....	33
16. FKH-Mitglieder	34

1. Vorwort des Präsidenten und des Geschäftsleiters

Sehr geehrte FKH-Mitglieder, sehr geehrte Freunde der FKH

Dank einer bedeutenden Zunahme der Auftragsarbeiten und einer signifikanten Steigerung des Umsatzes bei den Prüfdienstleistungen kann die FKH wiederum auf ein erfolgreiches Geschäftsjahr 2005 zurückblicken.

Ein besonderer Nachfragezuwachs war bei den Wechsellspannungsprüfungen mit Isolationsdiagnosen aber auch auf dem Gebiet der Isolierölanalysen zu verzeichnen. Die zahlreichen Hochspannungsprüfungen von Anlagen und Komponenten vor Ort konnten mit den Prüfanlagen der FKH, insbesondere mit den Hochspannungs-Serieresonanzanlagen wiederum sehr effizient durchgeführt werden.

Die hohe Auslastung des Prüfmittelparks führte zeitweise zu Engpässen und erfordert deshalb einen gezielten Ausbau der mobilen Prüfanlagen. Mit der Entwicklung und Beschaffung einer elektronischen Speisequelle für die Erregung von Leistungs-Transformatoren vor Ort hat diese Ausbauphase bereits begonnen. In Vorbereitung ist auch eine seit langer Zeit anstehende Erweiterung der FKH-Resonanzanlagen. Sowohl die Anzahl geprüfter Hochspannungskabelstrecken als auch deren Trasseelängen nehmen weiter zu. Das steigende Interesse an diesen Prüfdienstleistungen ist nicht zuletzt auf die durchwegs positiven Prüferfahrungen in den vergangenen 30 Jahren zurückzuführen. Diese Erfahrungen zeigen, dass sich das praktizierte Wechsellspannungs-Prüfverfahren der FKH im Sinne einer Qualitätsprüfung an verlegten Kabelsystemen als ausserordentlich effektiv erweist.

Ergänzungen der Gerätschaften sind auch im Labor für Isolierölanalysen notwendig. Einerseits ist die Laborkapazität an die steigende Nachfrage anzupassen, andererseits sind auch die Methoden der Isolierölanalysen auf den letzten Stand der Erkenntnisse zu bringen.

Die letztjährige Fachtagung am 11. November 2005 an der Fachhochschule Rapperswil widmete sich einem Schwerpunktsgebiet der FKH: „Isolationsdiagnose an Hochspannungsbetriebsmitteln“. Die Vorstellung moderner Isolationsprüfmethoden und die Diskussion der auf diesem Gebiet gemachten Fortschritte und Erfahrungen der letzten Jahre konnte ein breites und interessiertes Fachpublikum anziehen.

Nach einer Periode der Neuorientierung und Stabilisierung stellt sich heute für die FKH die Herausforderung, mit den wachsenden Bedürfnissen der Mitglieder und Kunden durch gezielte Kapazitätserweiterungen und Verbesserungen der Dienstleistungen Schritt zu halten. Das Team der FKH ist sich dieser Aufgabe bewusst und wird alles daran setzen, die FKH-Mitglieder und Kunden optimal zu bedienen und damit einen wertvollen Beitrag zur Sicherung der Qualität unserer Elektrizitätsversorgungsanlagen und Hochspannungsbetriebsmittel zu leisten.

Dr. Thomas Aschwanden
Präsident

Dr. Reinhold Bräunlich
Geschäftsleiter

Wechsel im Amt des FKH-Präsidenten

Nach acht Jahren Präsidentschaft und fünfzehn Jahren aktiver Mitarbeit im Vorstand der FKH ist unser bisheriger Präsident, Dr. Gianni Biasiutti, Direktor der Kraftwerke Oberhasli AG anlässlich der 119. Generalversammlung am 11. Mai 2005 zurückgetreten. Dank seiner Initiative und seinem unentwegten Einsatz konnte sich die FKH während seiner Präsidentschaft in zukunftsorientierten Schritten den Veränderungen der schweizerischen Elektrizitätsversorgung in Richtung Marktöffnung anpassen und sich zu einem bedeutenden Dienstleistungsanbieter aber auch zu einer gefragten Fachstelle für Mitglieder und Kunden weiterentwickeln. Herauszuheben sind auch der während seiner Amtszeit getätigte Kauf des Grundstücks unserer Versuchsstation Däniken und die Einrichtung eines Labors für Isolierölanalysen, durch welches die FKH sichtbar an Attraktivität gewinnen konnte.

Zur Lösung entscheidender und prioritärer Fragen stand Herr Biasiutti dem Geschäftsleiter stets sehr zuvorkommend mit Rat und Tat zur Seite.

Im Namen des Vorstands, der Mitglieder und der Arbeitsgruppe spricht der Geschäftsleiter Herrn Biasiutti einen herzlichen Dank für sein langjähriges und sehr fruchtbares Engagement aus.

Neu zum Präsidenten gewählt wurde Dr. Thomas Aschwanden, Vizedirektor und Leiter Abteilung Projekte der KWO. Herr Aschwanden war in den Jahren 1989 bis 1998 als Geschäftsleiter der FKH tätig. Auf Grund seiner detaillierten Kenntnisse aller FKH-Belange sind beste Voraussetzungen für eine optimale Leitung des Vorstands und eine effektive Betreuung der Geschäftsleitung gegeben.

Das Amt des Vizepräsidenten, welches Herr Aschwanden bisher inne hatte, wurde neu Herrn Benedikt Burkhardt, Vizedirektor und Leiter Übertragungs- und Verteilnetze der NOK übertragen.

Dr. Reinhold Bränlich
Geschäftsleiter

2. Struktur und Leitbild der FKH

Struktur der FKH



Bild 1 Struktur der FKH

FKH-Leitbild

Die FKH-Arbeitsgruppe (FKH-AGr) ist eine 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 und den Fachhochschulen sowie 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.

3. FKH-Vorstand

- Präsident:** **Dr. Gianni Biasiutti** (bis 11.05.2005)
KWO Kraftwerke Oberhasli AG
Dr. Thomas Aschwanden (ab 11.05.2005)
KWO Kraftwerke Oberhasli AG
- Vizepräsident:** **Dr. Thomas Aschwanden** (bis 11.05.2005)
KWO Kraftwerke Oberhasli AG
Benedikt Burkhardt (ab 11.05.2005)
Nordostschweizerische Kraftwerke AG
- Mitglieder:** **Heinz Aeschbach**
AREVA T&D AG
- Dr. Peter Biller**
ABB Sécheron SA
- Peter Betz** (ab 11.05.2005)
Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE)
- Serge Michaud**
Electrosuisse
- Dr. Reinhold Bräunlich** *)
Fachkommission für Hochspannungsfragen (FKH)
- Dr. David Orzan** (ab 11.05.2005)
BKW FMB Energie AG
- Peter Fessler**
Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (ewz)
- Prof. Dr. Klaus Fröhlich** **)
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ)
- Dr. Pierre Zweiacker** **)
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)
- Bernhard Krummen**
Service de l'Electricité de la Ville de Lausanne (SEL)
- Peter Mathis**
SBB, Energie
- Markus Pauli** (bis 11.05.2005)
Brugg Kabel AG
- Andreas Meier** (ab 11.05.2005)
Brugg Kabel AG
- Dr. Heinrich Zimmermann**
Atel Netz AG
- Vertreter der Fachhochschulen** **)
Prof. Hubert Sauvain
Ecole d'Ingénieurs et d'Architectes de Fribourg

Kontrollstelle:**Daniel Baumgärtner**

Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ)

Anton Stähler

Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (ewz)

*) Mitglied mit beratender Stimme

**) Mitglieder des Wissenschaftlichen Beirats

4. FKH-Arbeitsgruppe

Leitung:	Dr. Reinhold Bräunlich , dipl. El.-Ing. ETH	braeunlich@fkh.ch
Stellvertretung:	Günther Storf , dipl. El.-Ing. ETH	storf@fkh.ch
Sekretariat:	Brigitte Egger	egger@fkh.ch
Mitarbeiter:	Peter Frey , Chemielaborant	frey@fkh.ch
	Dr. Vahe der Houhanessian dipl. El.-Ing. ETH	houhanessian@fkh.ch
	Martin Hässig , El.-Ing. HTL	bis 31.01.2006
	Dr. Th. Heizmann , dipl. El.-Ing. ETH	heizmann@fkh.ch
	Dr. Hans-Josef Knab , Dipl. Phys. Leiter Labor für Isolierölanalysen	knab@fkh.ch
	Adamo Mele , Elektromechaniker	mele@fkh.ch
	Aldo Resenterra , Elektromonteur	resenterra@fkh.ch
	Toni von Deschwanden , Elektromechaniker	deschwanden@fkh.ch
Temporäre Mitarbeiter:	Manuel Vigara , El.-Ing. FH Praktikant	08.08. bis 23.10.2005
Betriebsstätten:	FKH-Geschäftsstelle Voltastrasse 9 8044 Zürich	Tel. 044 253 6262 Fax 044 253 6260
	FKH Agence Suisse Romande r. du Littoral 58c 2025 Chez-le-Bart	Tel. 032 725 2485 Fax 032 835 1130
	FKH-Isolieröllabor 4658 Däniken	Tel. 062 288 7799 Fax 062 288 7790 Pikett 058 319 20 60 trafo@fkh.ch
	FKH-Versuchsstation 4658 Däniken	Tel. 062 288 7795 Fax 062 288 7794
Internet-Adresse:	http://www.fkh.ch	

Dienstleistungen der FKH

Als unabhängige Institution bietet die FKH folgende Standarddienstleistungen an, welche vor allem vor Ort (z.B. in Unterwerken oder Kraftwerken), aber auch in Hochspannungslabors oder auf dem FKH-Freiluftprüffeld Däniken ausgeführt werden können:

- Hochspannungsprüfungen mit Wechselspannung von Anlagen und Komponenten vor Ort oder im Labor
- Teilentladungsmessungen und Messungen dielektrischer Eigenschaften vor Ort oder in abgeschirmten Prüflabors
- Stossspannungs- und Stossstromprüfungen vor Ort oder stationär in der Versuchstation Däniken
- Messung von transienten Vorgängen im Hochspannungsnetz und in Anlagen
- Nachweis der Wirksamkeit von Erdungsanlagen (Erdungsmessungen)
- Schulungskurse im Bereich Prüf- und Messtechnik
- Überprüfung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV)
- Berechnung und Messung elektrischer und magnetischer Felder (EMF)
- Abnahme von HS-Anlagen oder Komponenten im Auftrag Dritter
- Engineering und Beratung in Hochspannungs- und Blitzschutzfragen
- Isolierölanalysen



Bild 2 Die älteste GIS der Schweiz wird ersetzt: Hochspannungsprüfung der neuen GIS im Unterwerk Sempersteig in Zürich

5. Auftragsarbeiten und statistische Übersicht

Neben diversen Forschungs- und Entwicklungsprojekten wurden im Berichtsjahr 2005 insgesamt 99 Auftragsarbeiten und 95 Isolierölanalysen für FKH-Mitglieder und Dritte ausgeführt, mit welchen folgender Umsatz erzielt wurde (Angaben aus dem Vorjahr in Klammern, siehe auch Bild 3):

Erlös aus Auftragsarbeiten für FKH-Mitglieder ^{*)}	CHF	1'599'311.-	(1'115'755.-)
Erlös aus Auftragsarbeiten für Nichtmitglieder	CHF	506'979.-	(597'090.-)
Forschungs- und Entwicklungsarbeiten	CHF	33'000.-	(56'000.-)
Total gemäss FKH-Erfolgsrechnung 2005	CHF	2'139'290.-	(1'768'981.-)

^{*)} Nettoerlös, 10% Mitgliederrabatt abgezogen.

Tabelle 1 Erlös aus Auftragsarbeiten

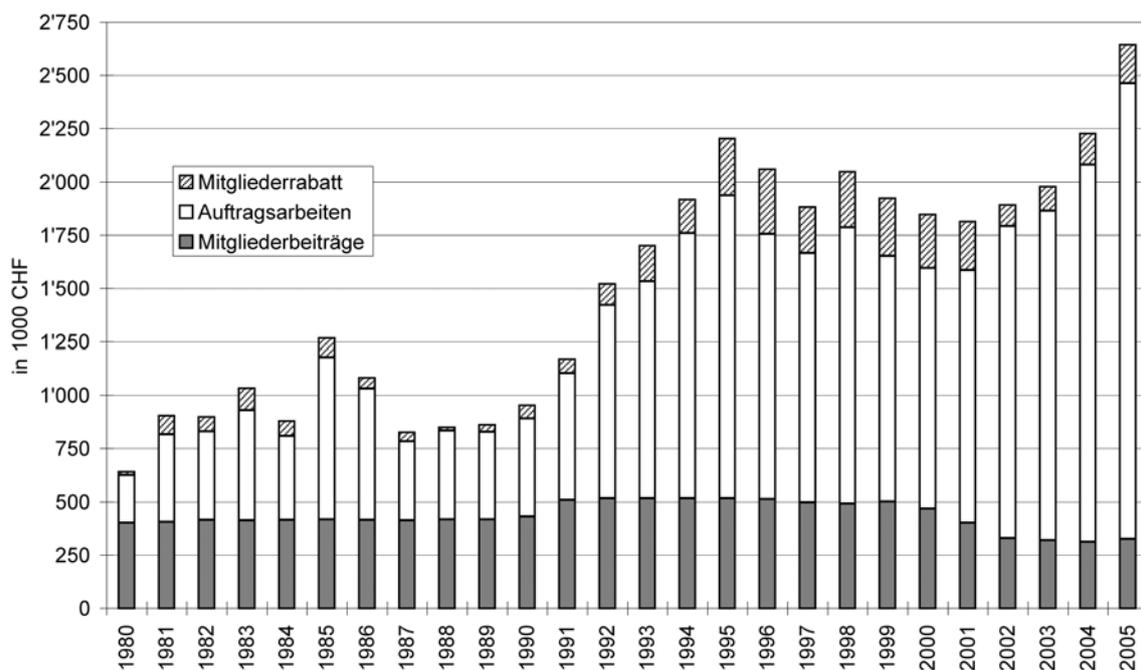


Bild 3 Erlös aus Auftragsarbeiten und Mitgliederbeiträgen, im Zeitraum von 1980 - 2005

Die Auftragstätigkeit der FKH-Arbeitsgruppe für Mitglieder und Dritte im Berichtsjahr 2005 kann folgenden Gebieten zugeordnet werden (prozentuale Verteilung bezogen auf den erzielten Nettoerlös, Angaben aus dem Vorjahr in Klammern):

Prüfung von Hochspannungs-Kabelanlagen	15%	(24%)
Diagnose von Hochspannungsapparaten (Transformatoren)	17%	(19%)
Prüfung von GIS	17%	(8%)
Erdungsmessungen / Nachweis von Blitzschutzmassnahmen	12%	(6%)
Typprüfungen / Spezialversuche	10%	(9%)
EMF / Korona / EMV / Transiente Vorgänge im Netz und in HS-Anlagen	2%	(1%)
Beratungs- und Betreuungsaufgaben	2%	(4%)
Isolierölanalysen	23%	(25%)
Forschungs- und Entwicklungsarbeiten	2%	(4%)

Tabelle 2 Prozentuale Verteilung der Auftragsarbeiten im Jahr 2005 nach Dienstleistungssparten aufgeschlüsselt (Vorjahr in Klammern)

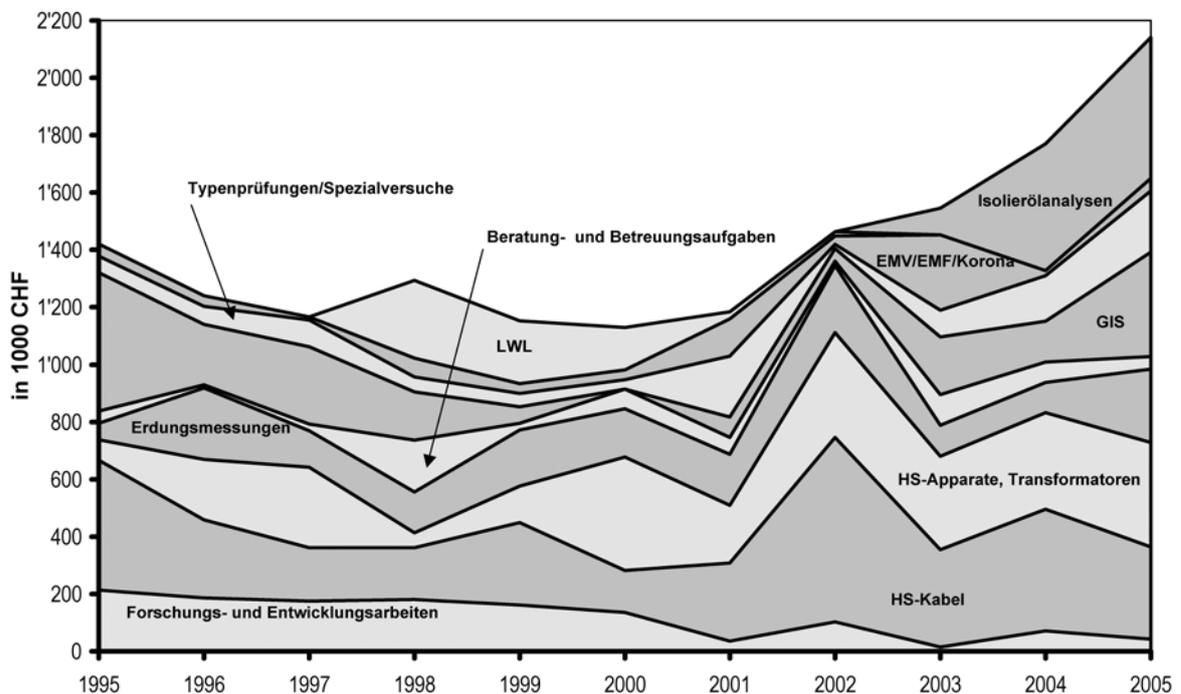


Bild 4 Entwicklung des Erlöses aus Auftragsarbeiten nach einzelnen Dienstleistungssparten (in CHF 1'000) über den Zeitraum von 1995 bis 2005

6. Informationsbroschüren

- Leistungstransformator-Diagnose / Diagnostic de transformateurs de puissance / Diagnosis of power transformers
- Kabelprüfungen und Kabeldiagnose vor Ort / Essais de câbles et essais diagnostiques sur site
- Erdungsmessungen in Unterwerken und Kraftwerken / Mesure de mise à la terre des sous-stations et des centrales
- Prüfungen von gasisolierten Schaltanlagen / Essais de postes sous enveloppe métallique (PSEM)
- Isolierölanalysen / Analyses d'huile d'isolation
- Literaturrecherche

Die Broschüren werden auf Wunsch zugestellt



Bild 5 Hochspannungsresonanzprüfung an einer 110-kV-Kabelstrecke mit Einspeisung am Endmast

7. Ausgewählte Auftragsarbeiten

Hochspannungsabnahmeprüfungen an GIS

Im Berichtsjahr konnten an sieben GIS-Anlagen von $U_m = 72.5 \text{ kV}$ bis $U_m = 420 \text{ kV}$ Wechselspannungsprüfungen mit UHF-Teilentladungsmessungen durchgeführt werden. Bei mehreren Prüfungen sind TE-Befunde oder Überschläge aufgetreten, die Reparaturen und Nachprüfungen zur Folge hatten.

Als Beispiel sei hier die Integralprüfung der 245-kV-GIS in der UST Handeck der KWO näher beschrieben:

Es handelt sich dabei um eine 245-kV-GIS mit zwei Sammelschienen, sechs Trafo- und vier Leitungsfeldern sowie einem Kuppelfeld und einer Längstrennung.

Da die Stehwechselspannungsprüfung mit $380 \text{ kV} / 1 \text{ min}$ erfolgen sollte, bot die Einspeisung der Prüfspannung Probleme: Die Einspeisung über ein angeschlossenes 220-kV-Kabel kam nicht in Frage, da die Kabel im Werk bei Routine- und auch Typenprüfungen mit maximal 318 kV belastet werden; ein Prüfkabel (bestehend aus HS-Kabelstecker, HS-Kabel und Freiluftendverschluss) zur Einspeisung in eine HS-Kabelbuchse wäre wegen der Grösse des Freiluftendverschlusses sehr unhandlich und teuer geworden. Es wurde schliesslich entschieden, die GIS mit einer angeflanschten Resonanzdrossel des Herstellers zu prüfen (siehe Bild 6).



Bild 6 245-kV-GIS in der UST Handeck. Rechts die angeflanschte Resonanzdrossel für die GIS-Prüfung

Da die angeflanschte Resonanzdrossel nur über eine beschränkte Leistungsfähigkeit verfügt, kam für die Prüfung der angeschlossenen Hochspannungskabel trotzdem ein Prüfkabel für die reduzierte Spannungsbeanspruchung von $254 \text{ kV} / 30 \text{ min}$ zum Einsatz, welches um einiges handlicher als die 380-kV-Version war. Die Prüfspannung wurde in diesem Fall mit einer Resonanzanlage der FKH, bestehend aus 12 Drosseln erzeugt (siehe Bild 7). Für die Prüfung der Linienkabel wurde das Prüfkabel in die Kabelbuchse des Reservefeldes eingesteckt und die Kabel über die Sammelschiene zugeschaltet.



Bild 7 Prüfung der Linienkabel mit der FKH-Resonanzanlage und dem Prüfkabel

Für die Prüfung der Trafokabel, welche beidseitig mit HS-Kabelsteckern versehen waren, stand eine sogenannte Prüfmuffe (SF₆-gefülltes Gehäuse mit 2 Kabelbuchsen) in die der trafoseitige Kabelstecker und der Stecker des Prüfkabels eingesteckt wurden, zur Verfügung (siehe Bild 8). GIS-seitig stand die Prüfspannung dann bis zum offenen Leistungsschalter an.



Bild 8 Prüfmuffe mit dem eingesteckten Prüfadapter (hinten) und dem Trafokabel (Prüfobjekt)

Bei allen Prüfungen wurden UHF-TE-Messungen durchgeführt, dazu waren an der Sammelschiene sowie an den Abgängen TE-Sensoren eingebaut.

Bei der TE-Messung der GIS wurde ein TE-behafteter Sammelschienentrenner entdeckt und ersetzt.

Während den Kabelprüfungen wurden in mehreren SF₆-Kabelendverschlüssen (Bauart nach IEC 60859) TE nachgewiesen: Ursache war eine ungenügende Füllung mit Silikonöl.

Kombinierte Werks- und Vor-Ort-Prüfung an Transformatoren

Leistungstransformatoren werden im Rahmen der Werksprüfungen u. a. einer Teilentladungsprüfung unterzogen. Nach bestandener Prüfung wird der Transformator für den Transport vorbereitet (Bild 9). Dabei werden z.B. die Durchführungen demontiert und das Isolieröl ganz oder teilweise abgelassen. Nach dem Transport und der Installation im Unterwerk macht es daher durchaus Sinn, den Transformator einer erneuten Teilentladungsprüfung zu unterziehen (Bild 10). Dies z.B. um Fehler bei der Montage der Durchführungen auszuschliessen. Weitere mögliche Fehler, die auch TE-relevant sein können, sind Transportschäden (mechanische Beschädigung des Aktivteils) oder eine zu hohe Feuchtigkeit im Öl-Papier-Isolationssystem (Undichtigkeit, ungenügende Aufbereitung des Öls). Die beiden letztgenannten Fehlerarten lassen sich noch effizienter mit der „Frequency Response Analysis“ (FRA) bzw. der Polarisations- und Depolarisationsstrommessung) PDC aufdecken.



Bild 9 Trafo bei der TE-Messung im Werk

Einige grosse EWs in der Schweiz wenden im Werk bzw. nach der Installation im UW folgende Abnahmeprozedur an:

	Messmethode	Ziel
Werk	TE	Nachweis der Integrität des Isolationssystems; Selektive Messung an allen Durchführungen; Vergleichswert für spätere Messungen
	Ölanalyse / PDC	Bestimmung der Feuchte im Öl und in der Zellulose vor dem Ablassen des Öls; Vergleichswert für spätere Messungen
	FRA	Vergleichswert für spätere Messungen; Fabrikationsstreuung innerhalb einer Serie

Vor Ort	TE	Nachweis der Integrität des Isolationssystems nach Abschluss aller Montagearbeiten Vergleichswert für spätere Messungen
	Ölanalyse / PDC	Bestimmung der Feuchte im Öl und in der Zellulose nach dem Transport und der Aufbereitung des Öls; Vergleichswert für spätere Messungen (Überwachung der Alterung)
	FRA	Aussage über transportbedingte geometrische Verschiebungen im Aktivteil; Vergleichswert für spätere Messungen (z.B. nach einem Schaden)

Tabelle 3 Empfohlene Prüfungen an Neutransformatoren zur Dokumentation des Anfangszustands

Durch diese Vorgehensweise wird sichergestellt, dass sich das Isolationssystem bei der Inbetriebnahme in einem einwandfreien Zustand befindet. Im Weiteren sind vor allem durch die FRA- und PDC-Messung wichtige Basiswerte vorhanden, die eine Beurteilung von späteren Messungen erst ermöglichen.



Bild 10 Trafo bei der TE-Messung vor Ort

Als Beispiel für die Aussagekraft der FRA-Messung sei folgender Fall herangezogen: Bild 11 zeigt die Messung der Übertragungsfunktion $1U \rightarrow 2u$ von zehn (vermeintlich) baugleichen Transformatoren. Neun Transformatoren zeigen Übertragungsfunktionen, die nur sehr wenig voneinander abweichen (geringe Fertigungsstreuung), überraschenderweise

hat jedoch einer eine sehr deutlich abweichende Übertragungsfunktion. Die Ursache liegt in diesem Fall nicht in einer Deformation der Wicklungen, sondern in einem unterschiedlichen Aufbau der auf zwei Schenkel verteilten Unterspannungswicklung dieses einen Transformators.

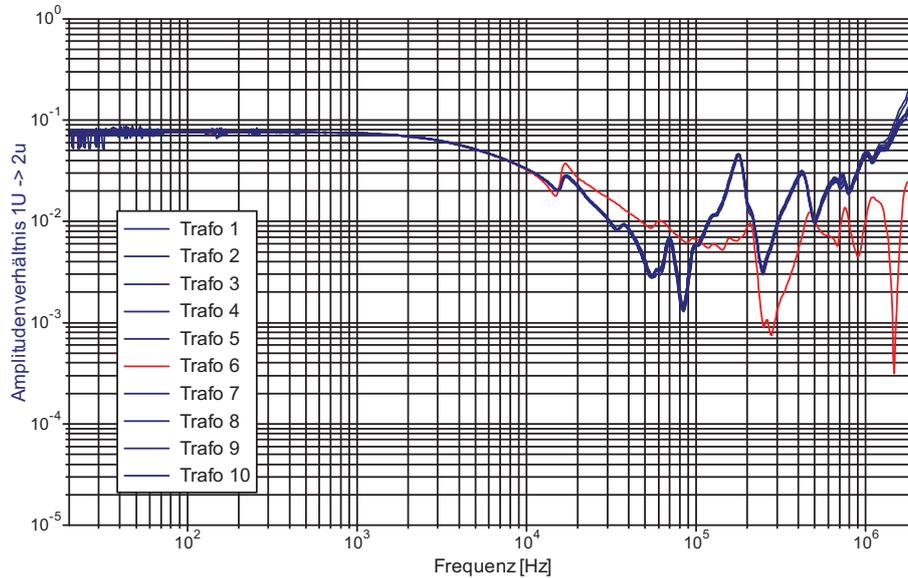


Bild 11 FRA-Messungen an zehn baugleichen Transformatoren (Übertragungsfunktion $1U \rightarrow 2u$)

Das Beispiel zeigt, wie wichtig es ist, im Werk und/oder vor Ort eine Referenzmessung vorzunehmen. Wären bei einem Verdacht auf einen Schaden, ohne vorhandene Referenzmessungen lediglich die Übertragungsfunktionen der Transformatoren untereinander verglichen worden, hätte man leicht falsche Schlüsse ziehen können.

8. FKH-Labor für Isolierölanalysen

Nach den beiden durchwegs erfolgreichen Anfangsjahren des FKH-Isolieröllabors darf das Jahr 2005 mit Fug und Recht als das Jahr der Konsolidierung bezeichnet werden. Neben einer Umsatzsteigerung von 15% im Vergleich zum vergangenen Jahr, was u.a. dem Gewinn neuer Kunden zuzuschreiben ist, waren in diesem Jahr auch 2 über das alltägliche hinausragende Erfolge in der Transformatorenzustandsdiagnose zu verzeichnen: Bei beiden Geräten – es handelt sich hierbei um 2 Maschinentransformatoren von verschiedenen Grosskraftwerken – wurden anhand von Isolierölanalysen Schwachstellen aufgedeckt, die über kurz oder lang zu einem Ausfall der beiden Transformatoren geführt hätten.

In dem einen Fall konnte die Schwachstelle mittlerweile durch eine veränderte Betriebsweise behoben werden, in dem anderen Fall wurde der Transformator während der routinemässigen Kraftwerksrevision durch einen geeigneten Reservetransformator ersetzt.



Bild 12 Isolierölprobenentnahme für die dielektrisch-chemische Untersuchung



Bild 13 Isolierölprobenentnahme für die Zersetzungsgasanalyse

Ein weiterer Schwerpunkt der Aktivitäten des Öllabors bildet die Mitarbeit in der neu konstituierten CIGRE Arbeitsgruppe D.01.13, deren erklärtes Ziel es ist, den Zustand der Feststoff (=Cellulose)-Isolation von Transformatoren anhand von entsprechenden Isolierölanalysen (Furane!) beurteilen zu können. Diese Problematik ist auch für die zukünftige schweizerische Energieversorgung von zentraler Bedeutung, da sich bei vielen der Transformatoren aus den 50-er und 60-er Jahren des vergangenen Jahrhunderts die Feststoffisolationen mittlerweile in einem zumindest fortgeschrittenen Alterungszustand befinden.

9. Entwicklungen und Investitionen

Neues TE-Messsystem

Da der Bedarf an TE-Diagnosemessungen an verschiedenen Betriebsmitteln in den letzten Jahren stetig zugenommen hat, hat sich die FKH entschlossen, ein zweites Messsystem für die phasen aufgelöste Erfassung der Teilentladungen anzuschaffen. Das neue System (MPD540 der Firma mtronix) erlaubt die simultane Messung an praktisch beliebig vielen (bis zu 960) batteriebetriebenen Kanälen, die mit Glasfasern verbunden sind. Bild 14 zeigt den prinzipiellen Aufbau des Systems.

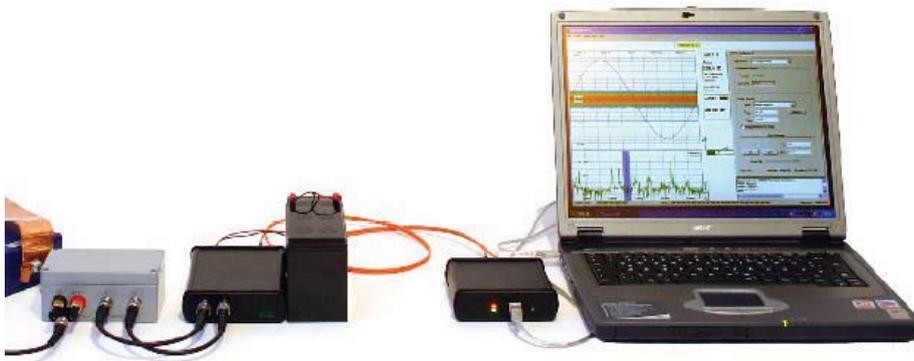


Bild 14 Aufbau des Messsystems, v.l.n.r.: Ankoppelvierpol, Messeinheit mit Akku und LWL-Schnittstelle, LWL, LWL-Empfängermodul mit USB-2-Schnittstelle, PC

Da die Distanz zwischen den Messstellen bis zu 2 km betragen kann, eignet sich das Gerät insbesondere für die TE-Messung an Muffen und Endverschlüssen von Hochspannungskabeln. Zur Zeit besitzt die FKH vier Kanäle, der Ausbau um einige weitere Kanäle ist mittelfristig geplant (falls nötig können kurzfristig weitere Kanäle zugemietet werden).

Jeder Kanal hat einen TE-Eingang mit einem Messfrequenzbereich von 0 bis 20 MHz; die Mittenfrequenz für die Evaluation der scheinbaren Ladung ist in diesen Grenzen frei wählbar. Neben der statistischen Erfassung der scheinbaren Ladung der TE-Impulse (Bild 15) misst das System auch deren zeitlichen Verlauf und deren Spektrum (Bild 16).

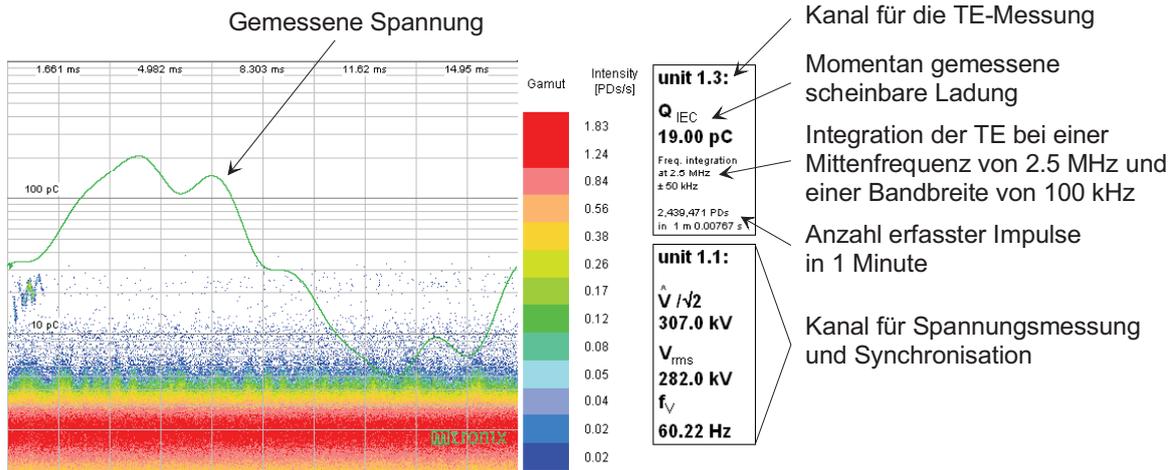


Bild 15 Beispiel der Anzeige im Programmfenster „TE-Messung“

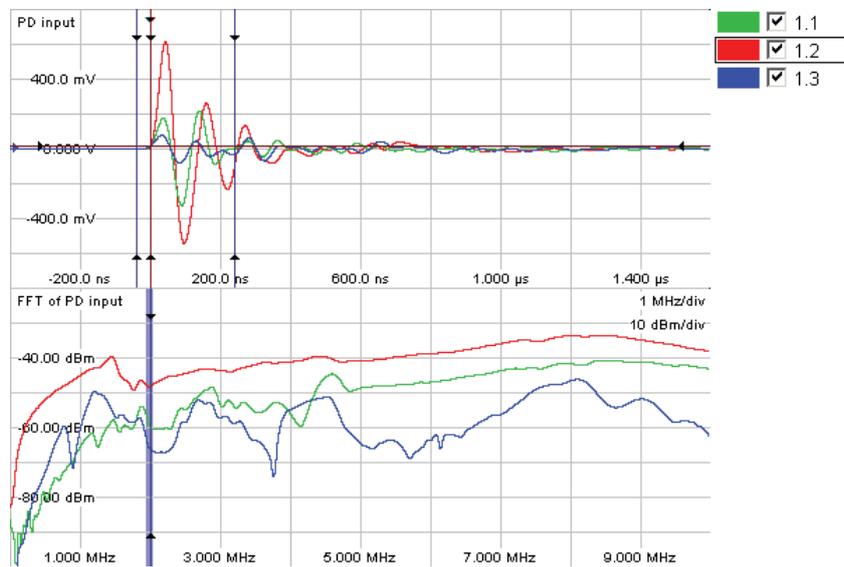


Bild 16 Beispiel der Anzeige in den weiteren Programmfenstern, oben: zeitlicher Verlauf eines TE-Impulses an drei Messstellen, unten: Frequenzspektrum der TE-Impulse

Messsystem für Frequency Response Analysis FRA an Transformatoren

Für die Frequency Response Analysis FRA an Transformatoren (auch Transferimpedanzmessungen) wurde das neue Messsystem „FRAnalyser“ der Firma OMICRON electronics GmbH in Klaus, Österreich beschafft (Bild 17).

Bei dieser Methode werden Übertragungsfunktionen an den Wicklungen von Leistungstransformatoren im Bereich von 10 Hz bis einige MHz gemessen. Der Verlauf der Amplituden- und Phasengänge, d.h. die Feststellung der genauen Frequenz und der Güte der Wicklungsresonanzen erlaubt es, auch kleine Unterschiede bzw. Veränderungen in der Wicklungsgeometrie festzustellen (Bild 18). Bisher wurden für diesen Zweck bei der FKH Netzwerkanalysatoren verwendet. Das neubeschaffte System ist einfacher und effizienter im Betrieb und unterstützt die rasche Protokollierung nach durchgeführter Messung.

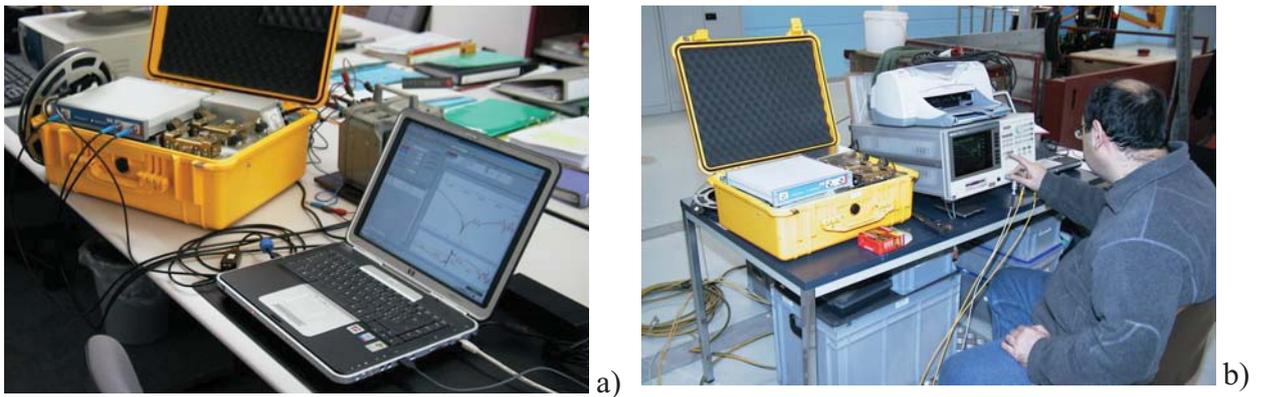


Bild 17 a) Fotografie des "FRAnalyzer" der Firma OMICRON im Probeinsatz
 b) Fotografie eines Vor-Ort-Messaufbaus bei einer vergleichenden Messung zwischen dem "FRAnalyzer" und einem handelsüblichen Netzworkanalysator

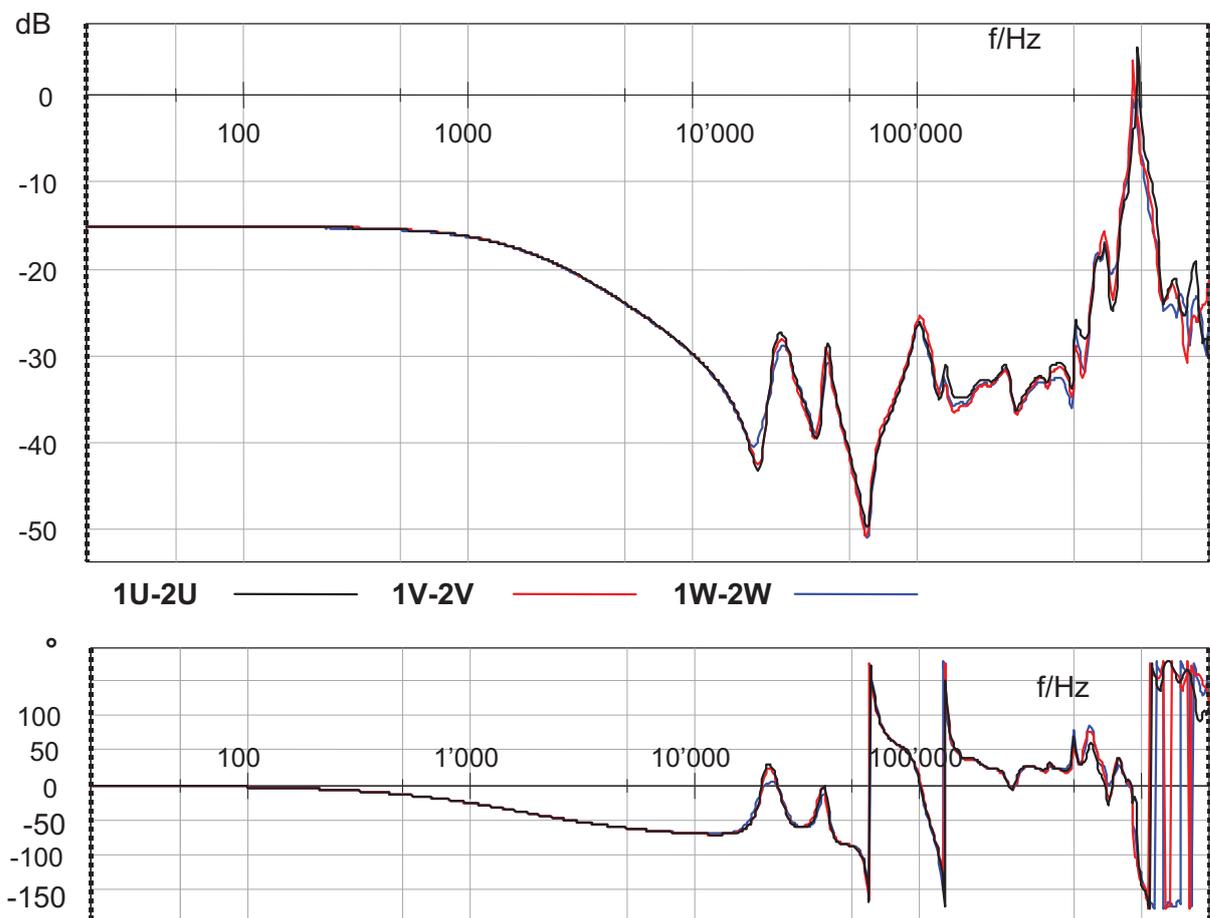


Bild 18 Beispiel von Spektren der drei Phasen eines Unterwerkstransformators, gemessen mit dem "FRAnalyzer" der Firma OMICRON
 oben: Amplitudengang, unten: Phasengang

Speisequelle für die Eigenerregung von Grosstransformatoren für Teilentladungsmessungen vor Ort (siehe auch Jahresbericht 2004, Abschnitt 9)

Die neue Speisequelle für die Eigenerregung von Grosstransformatoren vor Ort wurde im Berichtsjahr apparativ fertiggestellt. Die Steuerung der Anlage war am Ende des Berichtsjahrs noch nicht funktionsbereit, so dass die Inbetriebsetzung auf das Jahr 2006 verschoben werden musste.

Eckdaten der Speisequelle

Scheinleistungen:	600 kVA
Ausgangsspannung:	50 V ... 990 V
Ausgangsstrom:	3 x 400 A
Frequenz der Ausgangsspannung:	0 Hz ... 250 Hz (0 ..5 Hz und 150 Hz ... 250 Hz mit reduzierter Leistung)

10. Forschungsprojekte mit Drittmitteln

Untersuchung des Einflusses von Erdseilströmen auf die magnetische Flussdichte von Freileitungen

Die durch den Betrieb von Freileitungen induzierten Ströme in Erdseilen beeinflussen das magnetische Feld der Phasenströme. Im Berichtsjahr wurde ein gemeinsam mit dem ewz durchgeführtes und vom Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft PSEL unterstütztes Projekt (Projektnummer 255) abgeschlossen. Es wurde die Frage untersucht, inwieweit die Genauigkeit der Berechnung magnetischer Felder von Freileitungen durch eine Berücksichtigung von theoretisch ermittelten Erdseilströmen verbessert werden kann. Zweifel am Nutzen und der Notwendigkeit einer Berücksichtigung der Erdseilströme sind in ihrem geringen und fast immer feldreduzierenden Einfluss, aber auch in der grossen Unsicherheit bei der Bestimmung der Erdseilströme begründet. In der Praxis werden sie mit einem vereinfachten analytischen Modell für den induzierten Strom in einer unendlich langen homogenen Schleife zwischen Leiterseil und Erdboden berechnet. Im Rahmen des Projekts wurden Berechnungen mit Messungen an Beispielen von Höchstspannungsfreileitungen verglichen (Bild 19).

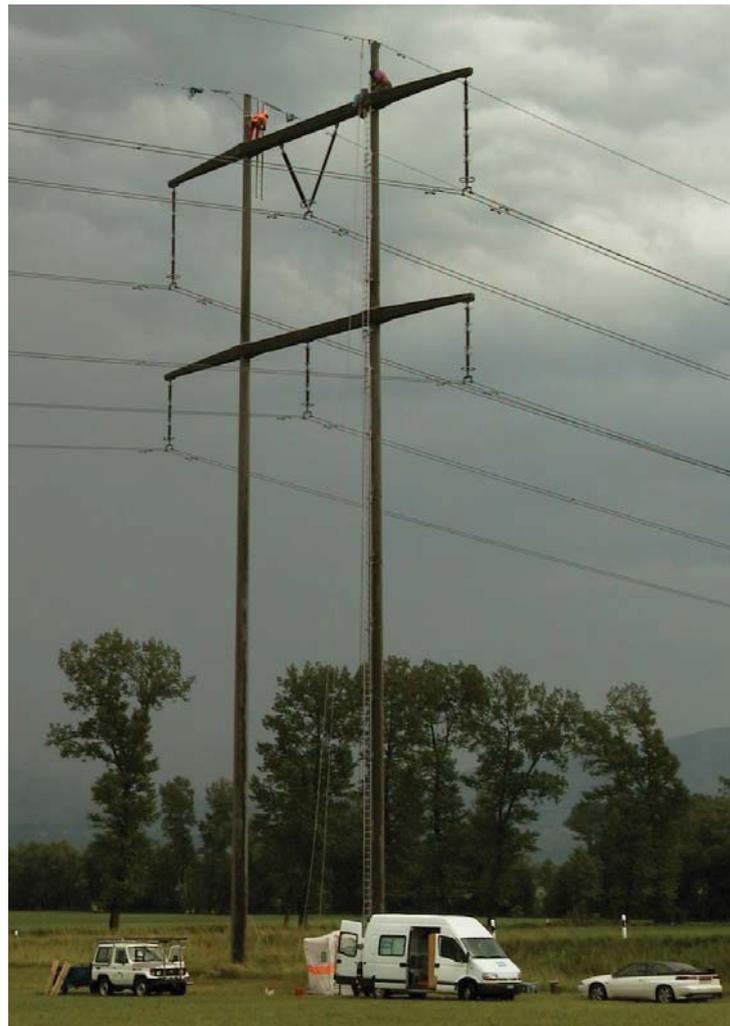


Bild 19 Montage der Stromzangen auf dem Mast 15 der Freileitung Benken – Siebnen / Mettlen

In den untersuchten Situationen mit einem und mit zwei Erdseilen zeigte sich, dass der Einfluss des Erdseilstroms deutlich geringer ausfiel, als die Gesamtunsicherheit bei einer magnetischen Flussdichteberechnung infolge der typischen Fehlergrößen in den Ausgangsdaten.

Die Abweichungen in den magnetischen Flussdichten zwischen Simulation und Messung lagen im Bereich von 10% bis 20%, während die Differenz zwischen den simulierten magnetischen Flussdichten mit und ohne Berücksichtigung des Erdseilstroms im Bereich einzelner Prozente lag.

11. FKH-Fachtagung 2005

Am 11. November 2005 fand in der Aula der Fachhochschule Rapperswil die FKH - / VSE - Fachtagung mit dem Titel „Isolationsdiagnose an Hochspannungsbetriebsmitteln - Stand der Technik und Ausblick“, statt.

Die Tagungsleitung wurde vom neuen FKH-Präsidenten, Herrn Dr. Thomas Aschwanden der Kraftwerke Oberhasli AG, wahrgenommen. Mit seiner einschlägigen Erfahrung begleitete er die Teilnehmer umsichtig und kompetent durch die Tagung.

Die Schwerpunkte der Tagung bildeten die Methoden der Isolationsprüfverfahren und die in den letzten Jahren erworbenen praktischen Erfahrungen auf diesem Gebiet. Behandelt wurden Diagnoseverfahren an rotierenden Maschinen, Transformatoren, Hochspannungsapparaten, Kabeln und an gasisolierten Schaltanlagen. Dabei wurde auf die Vielzahl der notwendigen Prüfschritte zur Qualitätssicherung der Isolationssysteme eingegangen, welche bei der Entwicklung, der Produktion und bei der Kundenabnahme im Werk und vor Ort auszuführen sind. Ausserdem widmete sich die Tagung der übergeordneten Fragestellung nach dem technischen und wirtschaftlichen Nutzen einer Isolationsdiagnose und ihrer Rolle für heutige Instandhaltungs-Strategien.

Die Veranstaltung wurde mit einem Werksrundgang durch die Produktionsstätte der Firma Weidmann Transformerboard Systems AG in Rapperswil abgerundet.



Bild 20 Aula der Fachhochschule Rapperswil während der Fachtagung

Gehaltene Vorträge im Rahmen der Fachtagung

Begrüssung durch den VSE

Vorwort zur Fachtagung

Technische und physikalische Hintergründe für die Entwicklung der modernen Verfahren zur Isolationsdiagnose

Bedeutung der Isolationsdiagnostik an Hochspannungsbetriebsmitteln für Anlagenbetreiber

Teilentladungsmessungen vor Ort, Prüfobjekte, Methoden und Aussagekraft

Referenten

Peter Betz

Dr. Thomas Aschwanden
KWO, Präsident FKH

Prof. em. Dr. Walter Zaengl

Guido Conrad
Kraftwerke Hinterrhein AG

Dr. Thomas Heizmann, FKH

Qualitätsmerkmale von Zellulose-Isolierungen für ölgekühlte Leistungstransformatoren, Prüfungen und Resultate	Peter Brupbacher, Weidmann Transformerboard Systems AG
Erfahrungen mit dielektrischen Verlustmessungen vor Ort, Folgerungen für das Betriebsverhalten	Dr. Vahe Der Houhanessian, FKH
Untersuchung der Geschwindigkeit elektrischer Alterungsprozesse in Statorisolationen rotierender elektrischer Maschinen	Tilman Weiers, Fachgruppe Hochspannungstechnologie, ETHZ
Qualitätstrends bei giessharzisierten Messwandlern	Beat Bertschi Pffner Messwandler AG
Sicherstellung der dielektrischen Integrität von GIS, vom Entwicklungsversuch bis zur Vor-Ort-Abnahmeprüfung	Robert Lüscher AREVA T&D AG

12. Zusammenarbeit mit Hochschulen / Nachwuchsförderung

Betreuung eines Praktikanten

Herr Manuel Vigara, Absolvent der Fachhochschule in Fribourg, absolvierte in der Zeit vom 8. August bis 23. Oktober bei der FKH ein Praktikum. In erster Linie beschäftigte er sich mit der Teilentladungsuntersuchung an Mittelspannungskomponenten im Labor der Versuchsstation in Däniken. Ausserdem nahm er bei diversen Vor-Ort-Prüfungen teil.

13. Teilnahme an Fachveranstaltungen, Referate, Publikationen

Teilnahme an Fachtagungen, Referate

Dr. R. Bräunlich

Organisation einer zweitägigen Sitzung der CIGRE/CIRED JWG 4.02.2

„EMC with communication circuits, low voltage systems and metallic structures“

30.09 / 01.10. 2005, bei der FKH in Zürich

M. Hässig

Besuch an der Kundenakademie MRcademy in Vöhringen bei Ulm, 28./29.09.2005

M. Hässig, Dr. V. Der Houhanessian

Teilnahme am Workshop “Diagnose von Leistungstransformatoren”

13. und 14. September 2005 im Omicron Development Center in Klaus (Österreich)

Dr. Th. Heizmann

Teilnahme am Journée d’information electrosuisse „Installations de protection contre la foudre; Recommandations SN SEV 4022:2004“, 02.02.2005

Einführungsvortrag zur Revision der SEV-Leitsätze, Montreux

Dr. Th. Heizmann

Teilnahme am Corso di formazione continua ESI „La messa a terra“

Vortrag über Erdungssysteme, Vorschriften und Messtechnik, 29.09.2005, Tenero

Dr. Th. Heizmann

Teilnahme an der Fachtagung des GIS-Anwender Forums in Darmstadt, 05.10.2005

Dr. Th. Heizmann

Vortrag „GIS-Prüfungen“ anlässlich der FKH-Mitgliederversammlung vom 11.05.2006 in Thalwil

Dr. Th. Heizmann

Referat: „Teilentladungsmessungen vor Ort, Prüfobjekte, Methoden und Aussagekraft“

FKH-/VSE-Fachtagung 2005 „Isolationsdiagnose an Hochspannungsbetriebsmitteln“

Rapperswil, 15.11.2006

Dr. V. Der Houhanessian

Referat: “Erfahrungen mit dielektrischen Verlustmessungen vor Ort, Folgerungen auf das Betriebsverhalten”FKH-/VSE-Fachtagung 2005 „Isolationsdiagnose an Hochspannungsbetriebsmitteln“, Rapperswil, 15.11.2006

Dr. H.-J. Knab

Teilnahme am IEC TC10 MT25 in Bilbao, 01.04.2005. Revision von IEC-Standard 61181

„Application of dissolved gas analysis & DGA/ to factory tests on electrical equipment“

Dr. H.-J. Knab

Teilnahme an der CIGRE SC D1 Session in Heraklion am 19.-20.06.2005 und an der Task-Force CIGRE D.01.13 „Furans for diagnostics“

Dr. H.-J. Knab, M. Hässig

„Isolationsdiagnostik an Transformatoren – Erfahrungen aus Off-Line-Messungen“

2. SGB-SMIT-Transformatoren-Symposium, 12. Mai 2005, Zürich.“

Weitere Teilnehmer: Dr. V. Der Houhanessian, Dr. R. Bräunlich

G. Storf, R. Bräunlich

Teilnahme an der OMICRON Anwendertagung 2005 vom 14.-15.06.2005 in Friedrichshafen (Deutschland)

Vortrag: „Messtechnische Untersuchung von Erdungen in Hochspannungsschaltanlagen“

Publikationen

Dr. R. Bräunlich

„Messtechnische Untersuchung von Erdungen in Hochspannungsschaltanlagen“,
OMICRON Anwendertagung in Friedrichshafen, 14. und 15. Juni 2005

Dr. Th. Heizmann

„Teilentladungsmessungen vor Ort, Prüfobjekte, Methoden und Aussagekraft“
VSE-Druckschrift 8.03d, 2005

Dr. V. Der Houhanessian

“Erfahrungen mit dielektrischen Verlustmessungen vor Ort, Folgerungen auf das Betriebsverhalten”, VSE-Druckschrift 8.03d, 2005

14. Mitgliedschaft / Mitarbeit in Fachgremien und Kommissionen

Die FKH ist bei folgenden Institutionen als Mitglied eingetragen:

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

Die FKH ist korrespondierendes Mitglied bei der FGH.

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

Die FKH ist Mitglied im Fördererkreis des ABB (Ausschuss Blitzschutz und Blitzforschung).

Die FKH ist bei folgenden nationalen und internationalen Fachgremien vertreten:

TK 14 des CES: „Transformatoren“

Vorsitz: M. Hässig

TK 20 des CES: „Elektrische Kabel“

Mitglied: G. Storf

TK 81 des CES: „Blitzschutz“

Vorsitz: Dr. Th. Heizmann

TK „Erdungssysteme“ des CES

Mitglied: Dr. R. Bräunlich

Ausschuss "Blitzschutz und Blitzforschung" (ABB) des VDE

Mitglied: Dr. Th. Heizmann

Cigré TC C4 "Power System Electromagnetic Compatibility"

Mitglied: Dr. R. Bräunlich

Mitarbeit in der CIGRE/CIRED JWG: C4.02.2 „EMC with communication circuits, low voltage systems and metallic structures“

WG 1: „Ferroresonanz“ im TK 38: „Messwandler“ des CES

Mitglied: Dr. R. Bräunlich

CIGRE TF D01.13 „Furans for diagnostics“

Mitglied: Dr. H.-J. Knab

IEC TC 10 WG 35 „Corrosive sulfur in insulating liquids“

Mitglied: Dr. H.-J. Knab

CES electrosuisse TK 10 „Flüssigkeiten für elektrotechnische Anwendungen“

Mitglied: Dr. H.-J. Knab

DKE (VDE/DIN) als Gast im K182 „Flüssigkeiten und Gase für elektrotechnische Anwendung“

Mitglied: Dr. H.-J. Knab

15. FKH-Mitglieder

Verbände

Electrosuisse
8320 Fehraltorf

Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE)
5001 Aarau

Werksmitglieder

ATEL Netz AG
4601 Olten

AEK Energie AG
4503 Solothurn

AEW ENERGIE AG
5001 Aarau

AG Kraftwerk Wägital
8854 Siebnen

Azienda Elettrica Ticinese
6501 Bellinzona

Aziende Industriali della città di Lugano
6901 Lugano

BKW FMB ENERGIE AG
3013 Bern

CKW AG
6002 Luzern

GROUPE E AG
2035 Corcelles

Elektra Birseck
4142 Münchenstein

Elektrizitäts-Gesellschaft Laufenburg AG
5080 Laufenburg

Energie Wasser Bern
3001 Bern

Elektrizitätswerk der Stadt Zürich
8050 Zürich

EKT AG
9320 Arbon

Elektrizitätswerke des Kantons Zürich
8022 Zürich

Energie-Service Biel/Bienne
2504 Biel

IBAAarau Strom AG
5001 Aarau

Industrielle Werke Basel
4008 Basel

Kraftwerke Hinterrhein AG
7430 Thusis

Kraftwerke Oberhasli AG
3862 Innertkirchen

Nordostschweizerische Kraftwerke AG
5401 Baden

onyx Energie Netze
4901 Langenthal

Rätia Energie Klosters AG
7250 Klosters

S. A.
l'Energie de l'Ouest-Suisse
1001 Lausanne

SBB Energie
3052 Zollikofen

sbo Städtische Betriebe Olten
4601 Olten

Städtische Werke Winterthur
8402 Winterthur

Service de l'électr. de la Ville de Lausanne
1000 Lausanne 9

Verzasca SA
6901 Lugano

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

Industriemitglieder, Ingenieurbüros und weitere Mitglieder

ABB Schweiz AG
8050 Zürich

OMICRON electronics GmbH
A-6833 Klaus

ABB Sécheron SA
1211 Genève 2

Pfiffner Messwandler AG
5042 Hirschthal

Agea - Kull AG
4552 Derendingen

Pfisterer Ixosil AG
6460 Altdorf

Alpha Elektrotechnik AG
2560 Nidau

Walter Rozner, Ing. Büro
3613 Steffisburg

AREVA T&D AG
5036 Oberentfelden

Siemens Schweiz AG
8047 Zürich

Brugg Kabel AG
5200 Brugg

Stationenbau AG
5612 Villmergen

EA Elektroarmaturen AG
8200 Schaffhausen

Studer Draht- und Kabelwerk AG
4658 Däniken

EcoWatt Projects AG
8852 Altendorf

Trench Switzerland AG
4052 Basel

Eidgenössisches Starkstrominspektorat
8320 Fehraltorf

**Weidmann Transformerboard Systems
AG**
8640 Rapperswil

Pöyry Energy AG
8037 Zürich

GMC-Instruments Schweiz AG
8052 Zürich

Haefely Test AG
4052 Basel

Maxwell Technologies SA
1728 Rossens

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

Fachhochschule beider Basel
4132 Muttenz

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

GVE/EMPA
8600 Dübendorf

**Hochschule für Technik + Architektur
Chur**
7000 Chur

Zürcher Hochschule Winterthur
8401 Winterthur

**Elektrizitätswerk des Kt. Schaffhausen
AG (Gönner)**
8201 Schaffhausen

Mitgliederbestand per 31.12.2005

Verbände	2	(2)
Werksmitglieder	30	(30)
Industriemitglieder, Ingenieurbüros und weitere Mitglieder	22	(18)
Korrespondierende Mitglieder	10	(10)
Total Mitglieder per 31.12.2005	64	(60)
(Stand per 31.12.2004 in Klammern)		