FKH

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

JAHRESBERICHT 2007

Inhalt: Seite

1. Vorwort des Präsidenten und des Geschäftsleiters 3
2. Struktur und Leitbild der FKH 5
3. FKH-Vorstand 7
4. FKH-Arbeitsgruppe 8
5. Dienstleistungen der FKH 9
6. Auftragsarbeiten und statistische Übersicht 10
7. Ausgewählte Auftragsarbeiten 12
8. Labor für Isolierölanalysen 20
9. Entwicklungen und Investitionen 21
10. Veranstaltungen 22
11. Zusammenarbeit mit Hochschulen / Nachwuchsförderung 24
12. Teilnahme an Fachveranstaltungen, Referate, Publikationen 25
13. Mitgliedschaft / Mitarbeit in Fachgremien und Kommissionen 27
14. FKH-Mitglieder 28
15. Informationsbroschüren der FKH 31

1. Vorwort des Präsidenten und des Geschäftsleiters

Sehr geehrte FKH-Mitglieder, sehr geehrte Freunde der FKH

Für die FKH war 2007 ein sehr erfolgreiches Jahr. Das Volumen der FKH-Dienstleistungen konnte gegenüber dem Vorjahr erneut signifikant gesteigert werden. Für das Interesse an den Aktivitäten und Dienstleistungen der FKH und das entgegengebrachte Vertrauen sprechen wir allen Mitgliedern und Auftraggebern einen besonderen Dank aus.

Die anhaltend hohe Nachfrage nach den FKH-Prüfdienstleistungen ergibt sich unter anderem aus der Tatsache, dass in den Netzen und in den Produktionsanlagen zur Zeit zahlreiche Erneuerungs- oder Erweiterungsprojekte ausgeführt werden. Bei der Abwicklung der bestellten Prüfaufträge wurde von der FKH-Arbeitsgruppe voller Einsatz abverlangt. Dabei hat sich die im letzten Jahr erfolgte personelle Verstärkung mit drei neuen Mitarbeitern sehr positiv ausgewirkt.

Im Rahmen der Aktivitäten und Projekte kam die FKH auch im vergangenen Jahr mit neuen Partnern in Kontakt. Erfreulicherweise konnte so in den letzten Jahren der Mitgliederbestand weiter ausgebaut werden. Dieser Zuwachs an neuen Mitgliedern ist ein Zeichen der Anerkennung und eine Bestätigung für das Konzept und die Idee der FKH.

Die günstige Auftragssituation ermöglicht es der FKH, die geplanten Erweiterungs- und Erneuerungsprojekte weitgehend mit eigenen Mitteln zu realisieren. Ein Ausbau der Vor-Ort-Prüfmöglichkeiten ist zur Zeit bei den Resonanzprüfanlagen und bei den Prüfeinrichtungen für Grosstransformatoren im Gange. Im Jahr 2008 werden diese neuen Prüfeinrichtungen erstmals zum Einsatz kommen.

Die am 14. November 2007 durchgeführte Fachtagung der FKH über ölimprägnierte Isolierstoffe fand unter den zahlreichen Spezialisten der Industrie und der Netzbetreiber reges Interesse. In den Präsentationen der eingeladenen Experten kamen aktuelle Themen eines altbewährten und auch komplexen Isolationssystems zur Sprache. Einmal mehr konnten im Rahmen der FKH-Fachtagung Erfahrungen aus der Praxis ausgetauscht und rege Diskussionen geführt werden.

In den letzten Jahren wurde der Personalbestand der FKH-Arbeitsgruppe stetig ausgebaut. Um der Nachfragesituation weiterhin gerecht zu werden, ist beim Personal eine weitere Verstärkung notwendig. Ausserdem wurde auch die Planung der dringend notwendigen Verbesserungen der Infrastruktur des FKH-Stützpunkts Däniken bereits in Angriff genommen.

Dr. Thomas Aschwanden
Präsident

Dr. Reinhold Bräunlich
Geschäftsleiter

2. Struktur und Leitbild der FKH

Struktur der FKH

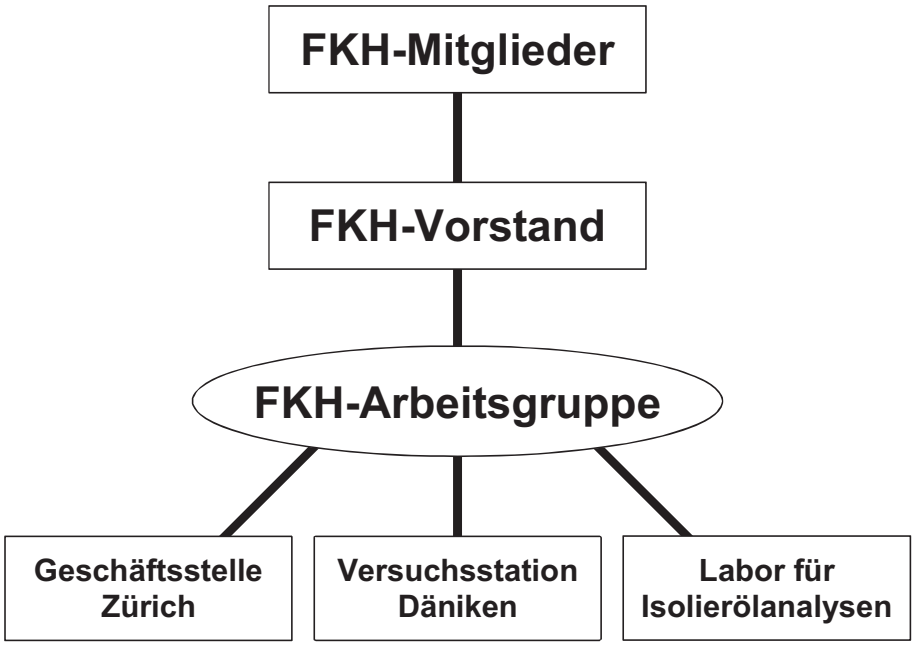


Bild 1 Struktur der FKH

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. Thomas Aschwanden** Kraftwerke Oberhasli AG (KWO)
Vizepräsident	**Benedikt Burkhardt** Nordostschweizerische Kraftwerke AG (NOK)
Mitglieder	**Martin Aeberhard** (seit 10.05.07) Schweizerische Bundesbahnen (SBB), Division Infrastruktur, Energie
	Heinz Aeschbach AREVA T&D AG
	Peter Betz Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE)
	Dr. Peter Biller ABB Sécheron SA
	Dr. Reinhold Bräunlich [1] Fachkommission für Hochspannungsfragen (FKH)
	Peter Fessler Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (ewz)
	Prof. Dr. Klaus Fröhlich [2] Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ)
	Bernhard Krummen Service de l'Electricité de la Ville de Lausanne (SEL)
	Andreas Meier Brugg Kabel AG
	Serge Michaud Electrosuisse
	Dr. David Orzan BKW FMB Energie AG (BKW)
	Prof. Hubert Sauvain [2] Ecole d'Ingénieurs et d'Architectes de Fribourg
	Dr. Heinrich Zimmermann Atel Netz AG
	Dr. Pierre Zweiacker [2] Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)
Kontrollstelle	**Anton Stäbler**, ewz (Hinschied am 3. Mai 2007) **Dirk Arpagaus,** EKZ (Mandatsrückgabe wegen Branchenwechsel im Sommer 2007)
	Neue Mitglieder der Kontrollstelle: briefliche Wahl vom 3.12.2007 **Doris Joos**, ewz **Heinz Huber**, EKZ

[1] Mitglied mit beratender Stimme

[2] 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	**Dr. Vahe Der Houhanessian** dipl. El.-Ing. ETH	houhanessian@fkh.ch
	Peter Frey, Chemielaborant	frey@fkh.ch
	Dr. Thomas 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
	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-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
Kontaktadresse für die Westschweiz	**Dr. Thomas Heizmann** rue du Littoral 58c 2025 Chez-le-Bart	Tel. 032 725 2485 Fax 032 835 1130 heizmann@fkh.ch
Internet-Adresse	**www.fkh.ch**	

5. 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 Versuchsstation Däniken
- Messung von transienten Vorgängen im Hochspannungsnetz und in Anlagen
- Nachweis der Wirksamkeit von Erdungsanlagen (Erdungsmessungen)
- Schulungskurse im Bereich der Prüf- und Messtechnik
- Überprüfung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV)
- Berechnung der thermischen Auslegung von Kabelstrecken und theoretische Abklärung von Beeinflussungsfragen
- Berechnung und Messung elektrischer und magnetischer Felder (EMF)
- Abnahme von HS-Anlagen oder Komponenten, Überwachung von HS-Prüfungen im Werk
- Engineering und Beratung in Hochspannungs- und Blitzschutzfragen
- Isolierölanalysen und Beurteilung von Öl-Papier-Isolationssystemen

Die erhältlichen Informationsbroschüren zu den Dienstleistungen werden in Abschnitt 15 aufgeführt.

Bild 2 Hochspannungskabelprüfungen mit der FKH-Resonanzanlage

6. Auftragsarbeiten und statistische Übersicht

Neben diversen Forschungs- und Entwicklungsprojekten wurden im Berichtsjahr 2007 insgesamt 104 Auftragsarbeiten und 117 Isolierölanalysen für FKH-Mitglieder und Dritte ausgeführt, mit welchen folgender Umsatz erzielt wurde (Angaben aus dem Vorjahr in Klammern, siehe auch Bild 2):

Erlös aus Auftragsarbeiten für FKH-Mitglieder *)	CHF	2'278'709.-	(1'632’311.-)
Erlös aus Auftragsarbeiten für Nichtmitglieder	CHF	302'364.-	(506’979.-)
Forschungs- und Entwicklungsarbeiten	CHF	22'843.-	(-.-)
Total gemäss FKH-Erfolgsrechnung 2007	CHF	**2'603'916.-**	(**2'139’290.-**)

*) Nettoerlös, 10% Mitgliederrabatt abgezogen.

Tabelle 1 Erlös aus Auftragsarbeiten

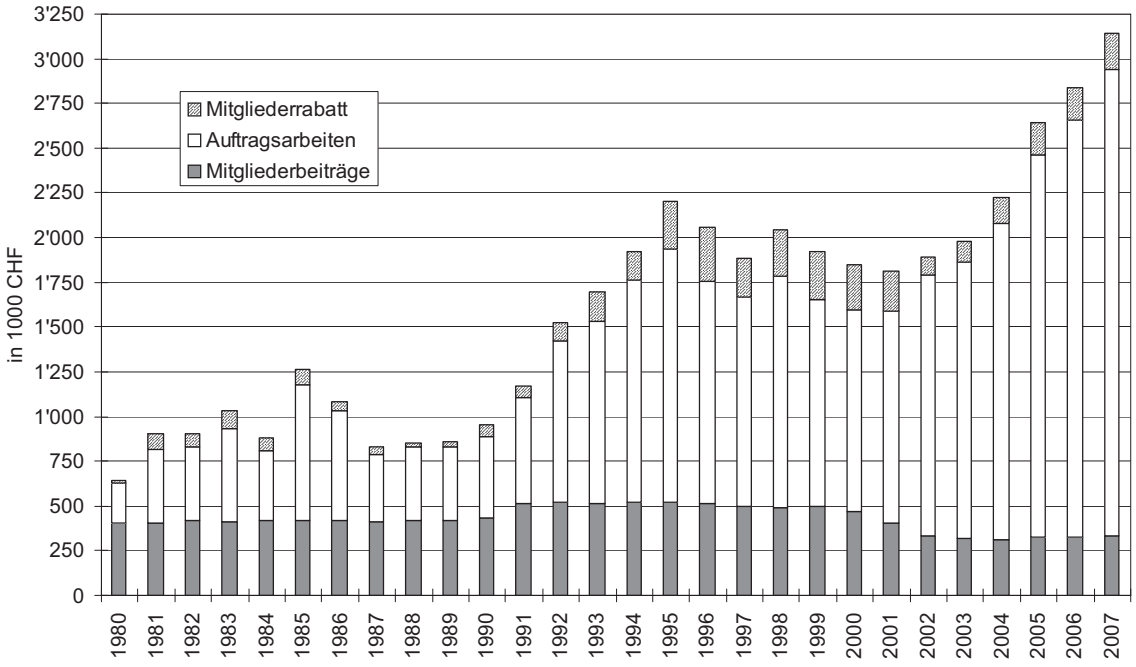


Bild 2 Erlös aus Auftragsarbeiten und Mitgliederbeiträgen, im Zeitraum von 1980 - 2007

Die Auftragstätigkeit der FKH-Arbeitsgruppe für Mitglieder und Dritte im Berichtsjahr 2007 kann folgenden Gebieten zugeordnet werden (prozentuale Verteilung bezogen auf den erzielten Nettoerlös, Angaben aus dem Vorjahr in Klammern):

Prüfung von Hochspannungs-Kabelanlagen	31% (24%)
Diagnose von Hochspannungsapparaten (Transformatoren)	23% (17%)
Prüfung von GIS	4% (10%)
Erdungsmessungen / Nachweis von Blitzschutzmassnahmen	5% (12%)
Typprüfungen / Spezialversuche	5% (5%)
EMF / Korona / EMV / Transiente Vorgänge im Netz und in HS-Anlagen	1% (2%)
Beratungs- und Betreuungsaufgaben	4% (2%)
Isolierölanalysen	26% (28%)
Forschungs- und Entwicklungsarbeiten	1% (0%)

Tabelle 2 Prozentuale Verteilung der Auftragsarbeiten im Jahr 2007 nach Dienstleistungssparten aufgeschlüsselt (Vorjahr in Klammern)

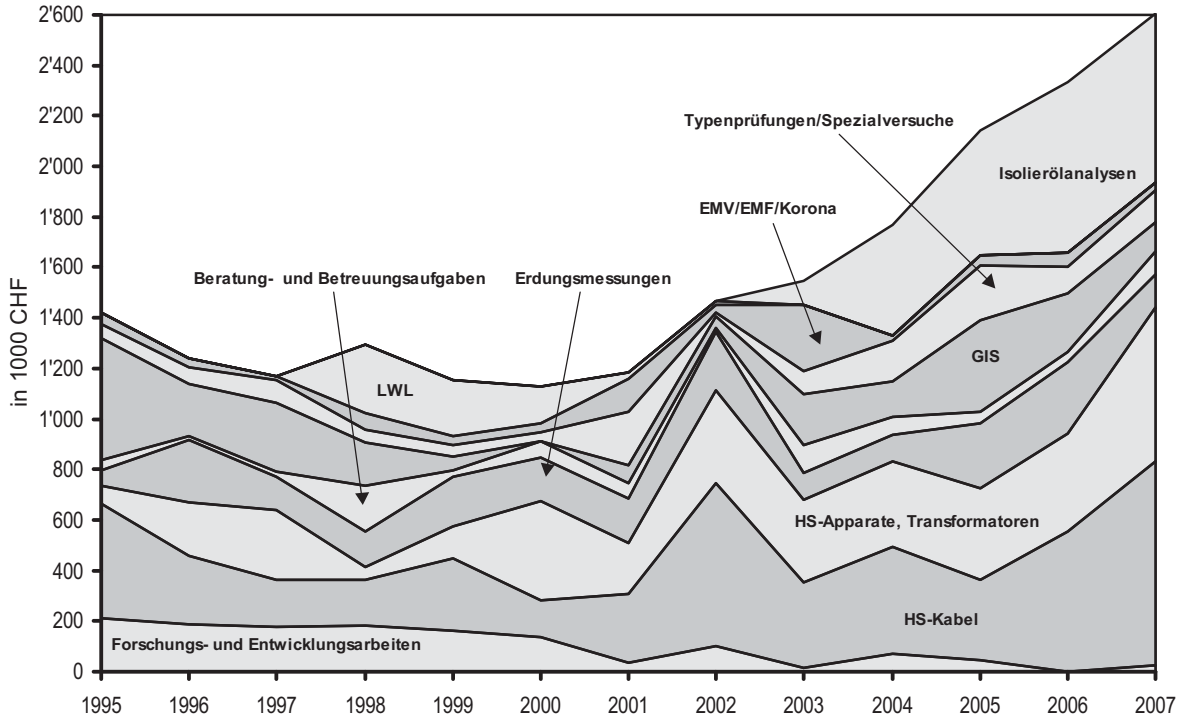


Bild 3 Entwicklung des Erlöses aus Auftragsarbeiten nach einzelnen Dienstleistungssparten (in CHF 1'000) über den Zeitraum von 1995 bis 2007

7. Ausgewählte Auftragsarbeiten

In diesem Teil des Jahresberichts wird dem Leser einen Einblick in einige besondere Auftragsprojekte und Arbeitsgebiete gegeben, welche sich durch Innovationen auszeichnen oder bei welchen aufgrund einer speziellen Aufgabenstellung interessante Lösungsansätze gewählt wurden.

Methoden zur Fehlerlokalisierung bei Vor-Ort-Trafoprüfungen

Werden bei einer Abnahmeprüfung eines Transformators im Werk oder vor Ort Teilentladungen diagnostiziert, stellt sich natürlich sofort die Frage nach dem genauen Ort der TE-Quelle. Ein Transformator stellt bei hohen Frequenzen ein sehr komplexes RLCM-Netzwerk[1] dar. Bei der Kalibration werden die Übertragungseigenschaften dieses Netzwerks von Anschluss zu Anschluss untersucht (Durchkopplungsmessung: Einspeisung eines schnellen Stromimpulses an einer Durchführung und Messung der Impulsantwort an allen anderen Durchführungen). Durch den Vergleich der Durchkopplungsmessungen mit den real gemessenen Teilentladungen an verschiedenen Anschlüssen gelingt in der Regel die Ortung von Teilentladungen, welche nahe bei einer Durchführung liegen, recht gut.

Befindet sich eine Teilentladung jedoch im Innern eines Transformators, durchläuft sie Teile dieses Netzwerks, bis sie an einer oder mehreren Durchführungen (heute in der Regel über kapazitive Messanschlüsse) erfasst werden kann. Wegen der Komplexität des RLCM-Netzwerkes ist diese Übertragungsfunktion weitgehend unbekannt, d.h. aufgrund der Durchkopplungsmessungen von Anschluss zu Anschluss kann nicht direkt auf den Ort der TE-Quelle geschlossen werden, sondern es ist die genaue Kenntnis der Konstruktion des Transformators und viel Erfahrung notwendig.

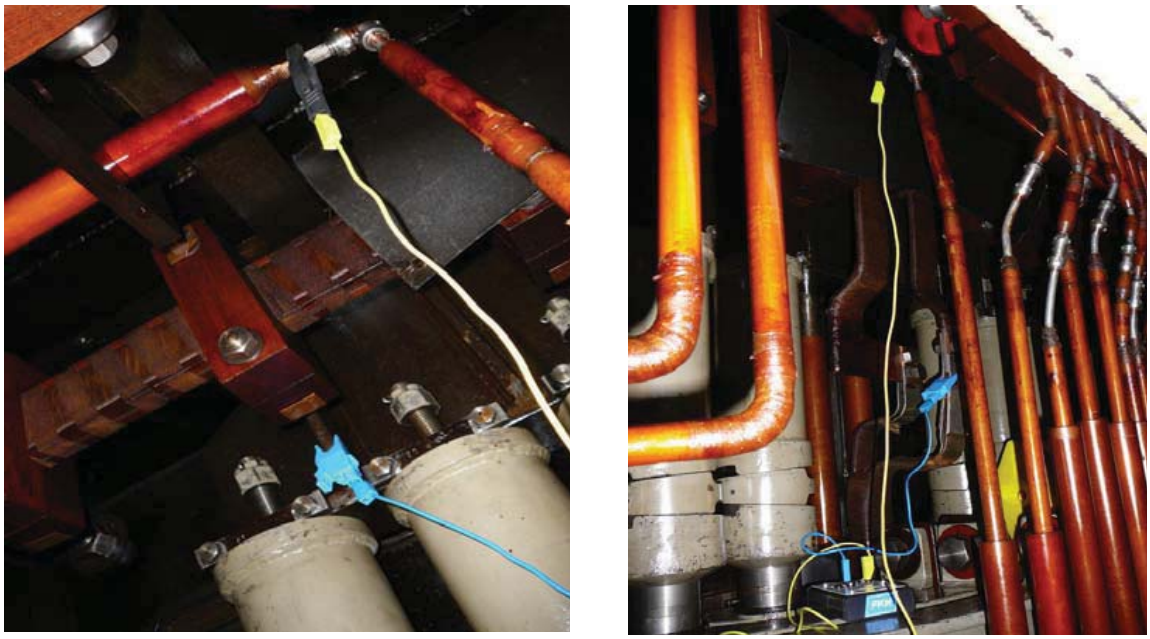


Bild 4: Einspeisung von Kalibratorimpulsen an verschiedenen Stellen der Wicklungen

[1] Hochfrequenz-Ersatznetzwerk bestehend aus Widerständen (R), Induktivitäten (L), Kapazitäten (C) und Gegeninduktivitäten (M)

Eine Feinlokalisierung der Fehlerstelle kann nur am ausgezogenen Aktivteil erfolgen, indem Kalibratorimpulse direkt an verschiedenen Stellen der Wicklungen eingespeist werden und wiederum mit den gemessenen Teilentladungssignalen verglichen werden. Das hier gezeigte Beispiel wurde in Zusammenarbeit mit der Transformatorexpertin Frau Dr. J. Fuhr, BKW FMB Energie AG, realisiert. Bild 4 zeigt die Einspeisung von Kalibratorimpulsen an verschiedenen Stellen der Wicklungen.

Bild 5 zeigt den Vergleich von Kalibratorimpulsen und den gemessenen Teilentladungen (im Oszillogramm), wobei sich die Einspeisestelle der Kalibratorimpulse recht nahe beim Fehlerort befindet.

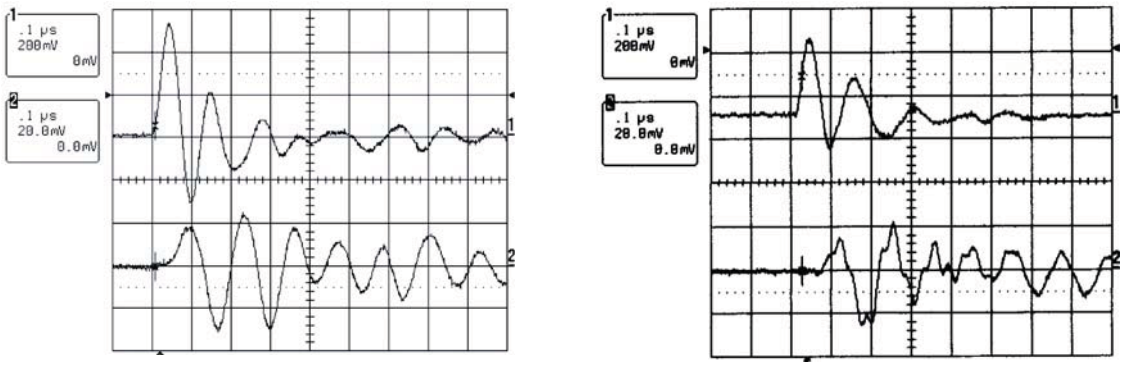


Bild 5: Vergleich von Kalibratorimpulsen (links) und realen Teilentladungen (rechts)

UHF-TE-Untersuchung einer GIS im Betrieb mit externen Sensoren

Neue gasisolierte Schaltanlagen werden heute vor der Inbetriebsetzung standardmässig einer Wechselspannungsprüfung mit Teilentladungsmessung unterzogen, wobei sich die Anwendung der UHF-TE-Messmethode an fest eingebauten Sensoren bestens bewährt hat.

In älteren GIS der ersten Generation fehlen allerdings solche Sensoren. Die TE-Prüfung ganzer Anlagen und damit auch die Teilentladungssensoren im UHF-Frequenzbereich wurden erst viel später aufgrund von Erfahrungen bei der Inbetriebsetzung entwickelt.

Dennoch liegt es auf der Hand, dass gerade der Isolationszustand der dreissig- bis vierzigjährigen Schaltanlagen (Bild 6) fraglich ist, und dass eine Überprüfung von Teilentladungen solcher Anlagen insbesondere im Betrieb von grossem Interesse ist.

Bild 6 **40 Jahre alte 150-kV-GIS, 8 Felder mit Doppelsammelschiene und Kupplungsfeld**

Da ein späterer Einbau von Sensoren einen grösseren Eingriff bedeuten würde und auch der Nachbau der älteren Anlageteile kostspielig wäre, werden heute Methoden untersucht, Durchgriffe sehr hochfrequenter elektromagnetischer Felder an bestehenden kleinen Öffnungen in der metallischen Kapselung für die Teilentladungsmessung zu nutzen.

Im vergangenen Jahr hat die FKH einen entsprechenden Pilotauftrag abgewickelt. Dabei wurde erstens die Eignung solcher Methoden durch Optimierung und anschliessendem Empfindlichkeitsnachweis untersucht. Zweitens wurde eine bestehende ältere Anlage mit dieser Technik systematisch überprüft.

Die Methodenuntersuchung wurde gemeinsam mit dem Anlagenhersteller in dessen Labor vorgenommen (Bild 7).

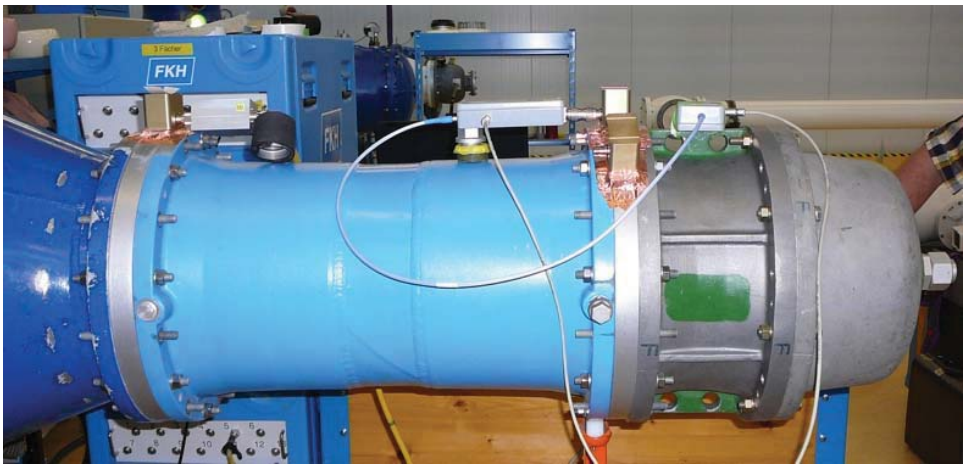


Bild 7 **GIS-Prüfgefäss im Herstellerlabor: Am mittleren Flansch wurde zur Nachbildung einer TE-Störstelle eine Nadel am Isolator befestigt**

Untersucht wurden Sensoren für die Montage an Eingusslöchern für Scheibenisolatoren und auch solche zur Montage an Schauglasfenstern der Trennschaltergehäuse. Beim

betrachteten Anlagetyp wurden beim Vergleich der beiden Sensortypen mit jenen an den Isolatoreingussöffnungen deutlich bessere Messempfindlichkeiten erreicht.

Der Empfindlichkeitsnachweis mit den gewählten Sensoren wurde auch vor Ort an der untersuchten GIS vorgenommen, indem die Übertragung von TE-Impulssignalen von Messstelle zu Messstelle durch Einspeisung eines vorgängig definierten Kalibrierimpulses über einen Sensor getestet wurde. Dieser musste jeweils an den Nachbarsensoren nachgewiesen werden können.

Bild 8: Isolator-Eingussöffnung

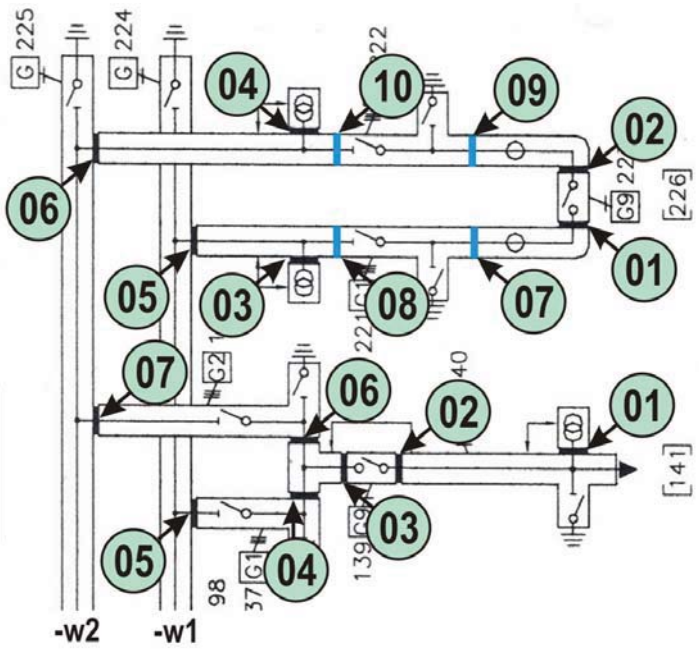


Bild 9: Notwendige Messorte für die Teilentladungsmessung im Kuppelfeld und in einem Leitungsfeld

Die Untersuchungen zeigten, dass mit mobilen Sensoren an der gesamten GIS Empfindlichkeiten in der Grössenordnung von 5 pC erreicht werden konnten.

Es muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass externe Sensoren im unteren UHF-Frequenzbereich (unter 700 MHz) weniger empfindlich sind, als fest eingebaute Sensoren. Erst im höheren Frequenzbereich 700 MHz bis 2'000 MHz werden ähnliche Empfindlichkeiten wie bei modernen integrierten Standard-UHF-Sensoren erreicht. Aufgrund der hohen Dämpfungen der Frequenzen oberhalb von 700 MHz im Innenraum der GIS müssen deshalb bei TE-Prüfungen mit externen Sensoren wesentlich mehr Messstellen untersucht werden. Im vorliegenden Fall mussten Messungen an Isolatoreneingussöffnungen im Abstand von jeweils ca. 3 m durchgeführt werden.

Die untersuchte Anlage zeigte bei der folgenden systematischen Messung im Betrieb keine Teilentladungsfehlerstelle.

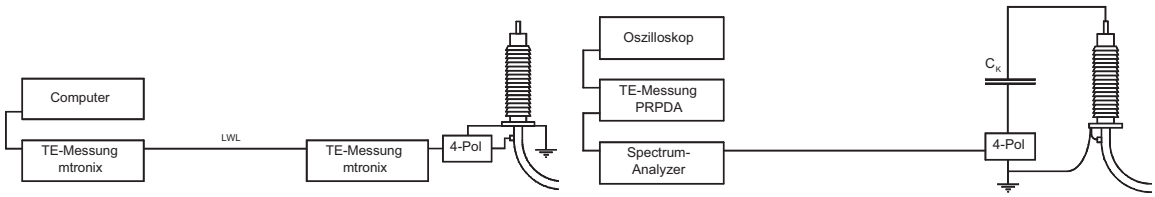
Teilentladungsmessungen an Kabelstrecken

Die Durchführung von Teilentladungsmessungen während Hochspannungsresonanzprüfungen an Kabelsystemen vor Ort ist bei Kabelstrecken der höheren Spannungsebenen und bei hohen Anforderungen an die Verfügbarkeit im Zunehmen begriffen.

Im Gegensatz zu reinen Spannungshalteprüfungen ist eine gesicherte Diagnosestellung durch TE-Messung wesentlich anspruchsvoller. Dies gilt für die Planung, die Ausführung und die Auswertung. Aufwand und Nutzen hängen von diversen Faktoren ab.

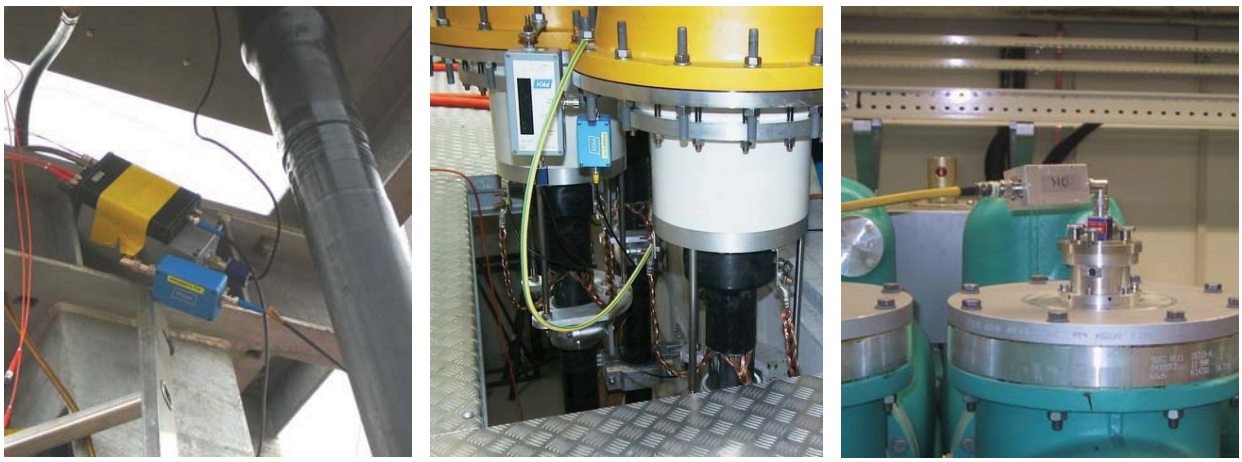
Teilentladungsmessungen dienen, wie die Hochspannungsprüfung selbst, zur Qualitätskontrolle der Garnituren und können meist montagebedingte Fehlerstellen aufzeigen, die nicht schon bei der Prüfung zum Isolationsversagen führen.

Theoretisch können durch eine TE-Messungen an nur einem Kabelende Fehler auf der ganzen Kabellänge detektiert werden. Meistens werden die TE Messungen aber lokal an allen kritischen Komponenten, wie den Kabelendverschlüssen und den Muffen mehrkanalig durchgeführt. Nur mit solchen Messungen werden ausreichende Empfindlichkeiten zur Erkennung aller kritischer Fehler erreicht. Für solche mehrkanalige, „lokale“ Messungen können auch höhere Frequenzen verwendet werden, bei denen dann in der Regel geringere Störeinflüsse vorhanden sind. Bild 10 bis Bild 12 zeigen in Schemata und in Form von photographisch festgehaltenen Beispielen die verschiedenen Varianten der Teilentladungsankopplung an Kabelgarnituren.



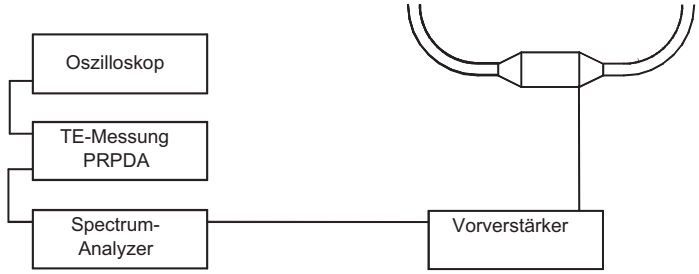
a) TE-Vierpolankopplung zwischen Kabelschirm und Anlagenerdung
b) TE-Vierpolankopplung an einem zugeschalteten Ankoppelkondensator

Bild 10 Prinzipschemata für die TE-Ankopplung an Freiluftendverschlüssen



a) Freiluftendverschlüsse Ankopplung mit Vierpol zwischen Kabelschirm und Erdung
b) GIS-Endverschlüsse Ankopplung mit Vierpol zwischen Kabelschirm und GIS-Kapselung
c) UHF-Messung im Kabelabgangsfeld an einem GIS-UHF-Sensor

Bild 11: Verschiedene Varianten für die Messungen an Kabelendverschlüssen



a) Prinzipschema für die Messung an magnetisch gekoppelten Muffensensoren

b) Beispiel für eine Messung an Muffensensoren

Bild 12: Teilentladungsmessung an Muffensensoren, im Frequenzbereich zwischen 5 MHz und 20 MHz

Der Erfolg einer Fehlerstellenortung hängt von der Impulsamplitude einer Teilentladung aber auch von der Dämpfung bei der Signalfortpflanzung im Kabel ab. Letztere ist abhängig von der Frequenz, welche ihrerseits dem Störhintergrund anzupassen ist. Bei optimierter Messfrequenz können Empfindlichkeiten in der Grössenordnung einiger pC erreicht werden. Störungen sind meist nicht ganz vermeidbar. Sie können aber mit entsprechender Prüferfahrung meist als solche erkannt werden (Bild 13).

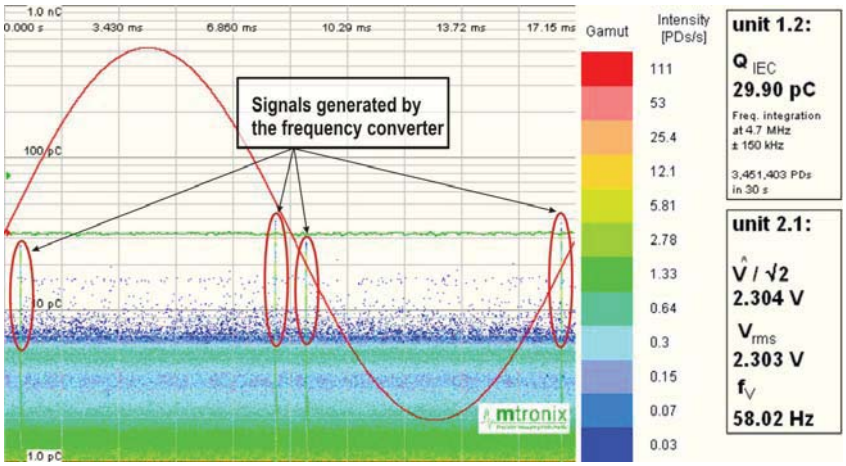


Bild 13 Ergebnis einer Teilentladungsmessung an einem Kabelfreiluftendverschluss: Sichtbar ist der Rauschhintergrund als graues Band im unteren Teil des Bilds, der bis ca. zum Skalenstrich 10 pC reicht. Ausserdem sind die hochfrequenten Anteile der Frequenzumrichterimpulse zu erkennen. Oberhalb der Rauschgrenze liegen keine Teilentladungssignale vor

Falls der Kabel-Innenleiter nicht zugänglich ist (Muffe oder GIS-Endverschluss), so kann die TE-Messkette vor Ort nicht kalibriert werden. Allerdings sind Empfindlichkeitstests möglich. Viele Betreiber sind der Auffassung, dass jede detektierte Teilentladung im Feststoffisoliersystem auch ohne exakte Bestimmung der scheinbaren Ladung ein Betriebsrisiko darstellt.

Kabelgarnituren mit vom Hersteller erprobten TE-Sensoren haben sich bei Vor-Ort-Messungen bewährt. Die Erfahrung hat gezeigt, dass eine ausreichende Messempfindlichkeit erreicht werden kann und eine Lokalisierung von TE-Fehlern zumindest bei mehrkanaliger Messung in der Regel möglich ist.

Ermittlung der Reichweite von Magnetfeldern bei Unterwerken

Im Rahmen der Umsetzung der Verordnung zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung NISV, welche auf den 1. Februar 2000 in Kraft getreten ist, sind alle Energieversorgungsanlagen bezüglich der dort festgelegten Grenzwerte zu überprüfen.

Die Verordnung legt für Starkstromanlagen mit Betriebsfrequenz 50 Hz folgende Grenzwerte fest:

- Immissionsgrenzwert: 100 µT an Orten, wo sich Menschen aufhalten können
- Anlagengrenzwert (Emissionsgrenzwert) von 1 µT Orten mit empfindlicher Nutzung

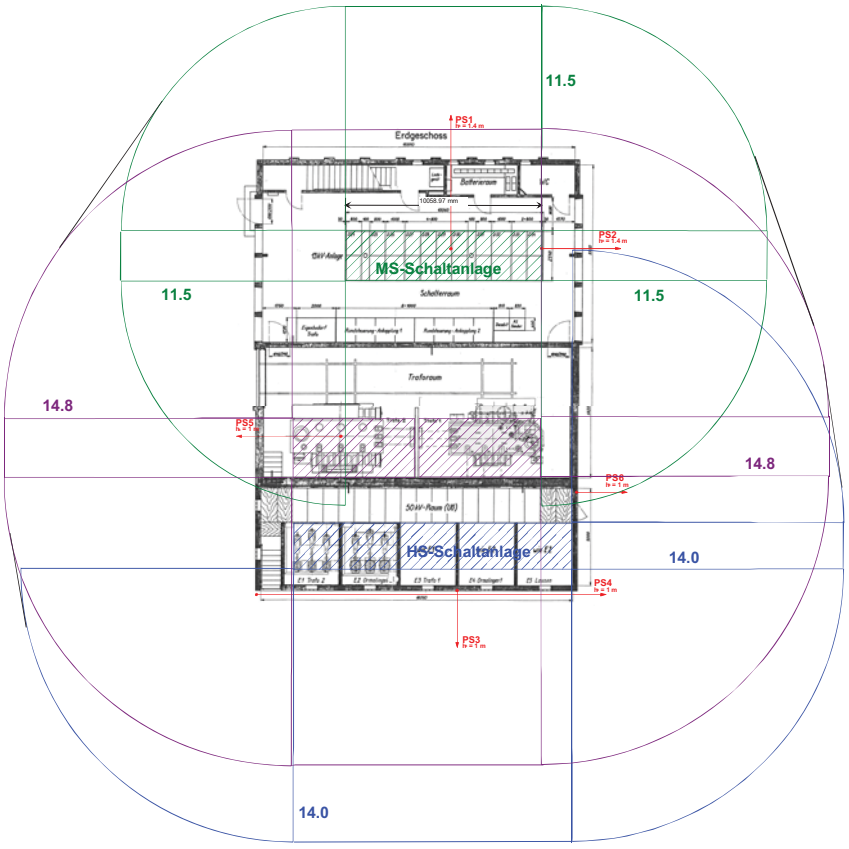
Bei der Untersuchung der magnetischen Flussdichten in der Umgebung von Unterwerken geht es in erster Linie um die Frage, bis zu welcher Distanz von den aktiven Anlageteilen die magnetische Flussdichte auf die genannten Grenzwerte abgeklungen ist.

Die FKH hat in den letzten Jahren einige Unterwerke beurteilt, wobei sich bezüglich Aufwand und Aussagekraft ein kombiniertes Verfahren, basierend auf einer theoretischen Worst-Case-Abschätzung und Profilmessungen im Betrieb, bewährt hat.

Für die theoretischen Abschätzungen der Distanzen bis zum Abklingen auf den Anlagegrenzwert von 1 µT wird das Unterwerk in folgende Teilanlagen aufgeteilt:

- Transformatoren inkl. Anschlüsse (hoch- und niederspannungsseitig)
- Hochspannungsschaltanlage inkl. Kabelabgänge
- Mittelspannungsschaltanlage inkl. Kabelabgänge

Für jede dieser Teilanlagen wird mittels einer theoretischen Beziehung ein Radius bestimmt, innerhalb welchem die magnetische Flussdichte auf den Anlagengrenzwert abgeklungen ist.



Dabei wird jeweils der ungünstigste Betriebszustand bei maximalen Betriebsströmen gewählt. Der so ermittelte Radius kann nun auf einem Grundrissplan von der äusseren Begrenzung des betreffenden Anlageteils in alle Richtungen abgetragen werden (Bild 14), wonach die Einhaltung des Anlagengrenzwert in der Unterwerksumgebung direkt beurteilt werden kann.

Bild 14 Grenzwertlinie bis zur Unterschreitung des Anlagengrenzwerts bei einem Unterwerk

Anschliessend werden an ausgesuchten Orten in radialer Richtung Profilmessungen im Anlagenbetrieb durchgeführt, wobei die Sammelschienen- und Abgangsströme registriert werden müssen. Die gemessenen magnetischen Flussdichten können dann auf die Bedingungen bei Nennstrom hochgerechnet werden. Ein Vergleich der Berechnung mit der Messung dient der Kontrolle der Annahmen, welche bei der Worst-Case-Rechnung gemacht wurden und zeigt auch auf, wie viel Reserve diese Berechnung beinhaltet.

Bild 15 Zweckmässiger Ort für die Profilmessung an einer gekapselten 50-kV-Schaltanlage

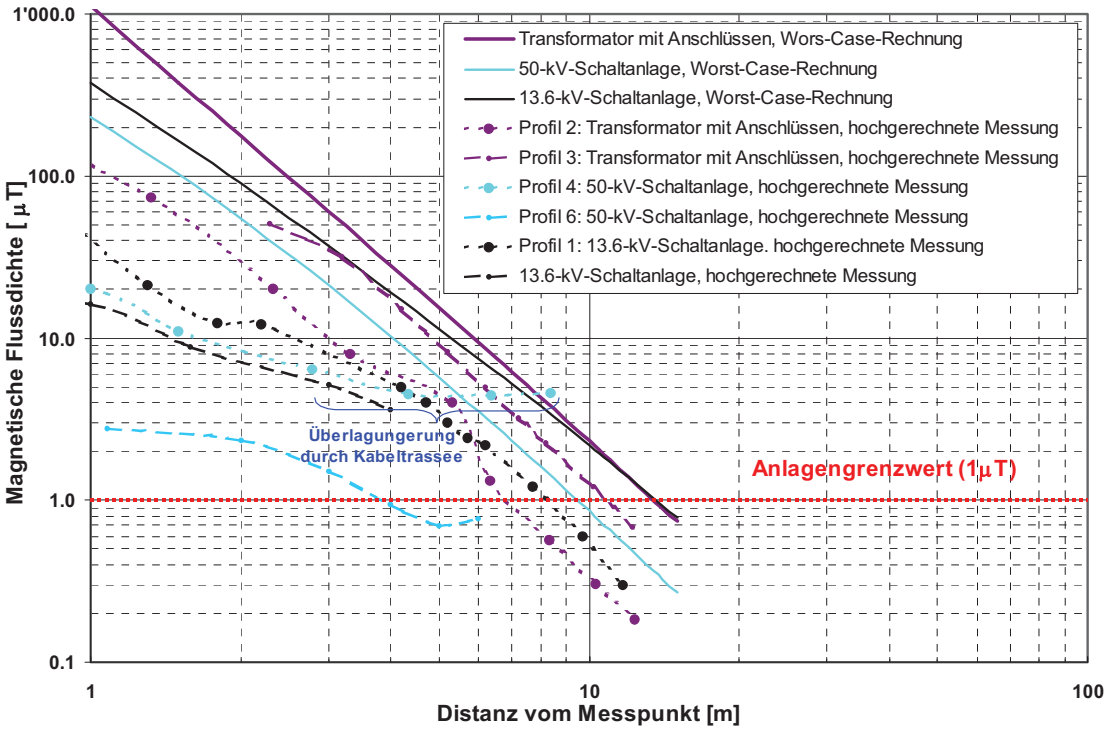


Bild 16 Vergleich der Worst-Case-Berechnung mit den Messprofilen

Das Interessante an der Methode sind, trotz sehr einfachen Abschätzmethoden, die verhältnismässig geringen Distanzunterschiede von wenigen Metern, welche beim Vergleich mit den Messungen festgestellt werden können. Dieser Sachverhalt ist im sehr raschen Abklingen der magnetischen Flussdichte begründet, welche im interessierenden Bereich meist schneller als mit der zweiten Potenz erfolgt.

8. Labor für Isolierölanalysen

Das FKH-Isolieröllabor stand im Jahr 2007 ganz im Zeichen des *potentiell korrosiven Schwefels*. Die bereits im Jahresbericht des vergangenen Jahres vorgestellte Prüfmethode gemäss IEC-Draft 10/684/NP, an deren Zustandekommen unser Laborleiter Dr. H.-J. Knab mitgearbeitet hat, wird demnächst als IEC-Standard 62535: "Test method for detection of potentially corrosive sulphur in used and unused insulating oil" erscheinen.

In Anwendung dieser Methode konnten eine Reihe von mit derartigem Schwefel belasteten Objekten in der Schweiz erkannt und mit den Betreibern Abhilfemassnahmen eingeleitet werden. Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang auch eine Versuchsreihe, die im Auftrag eines namhaften EVU[2]s gestartet worden ist. Ziel dieser Versuche ist es, die Wirkung des potentiell korrosiven Schwefels auf die Feststoffisolation (=Cellulose) in Abhängigkeit der Zeit und der Betriebstemperatur zu untersuchen.

a)

b)

Bild 17 IEC-Test gemäss Standard 62535 bezüglich potentiell korrosivem Schwefel in Isolieröl
a) Test-Kupferstreifen
oben: vorher
Mitte: Öl ohne korrosiven Schwefel
unten: Öl mit korrosivem Schwefel
b) Test Isolierpapier
vor und nach dem Test von Öl mit korrosivem Schwefelgehalt (glänzende Stellen im unteren Bild: Kupfersulfid=Halbleiter)

Als wesentlicher Erfolg darf auch das rechtzeitige Erkennen eines schadhaften 230-MVA-Maschinentransformators des KKW Beznau II anhand von Isolierölanalysen bezeichnet werden. Das Öl dieses Transformators wurde nach Entdecken einer Heissstelle ca. 1 Jahr lang in Monatsabständen kontrolliert, wobei sich der Verdacht auf eine Heissstelle erhärtete. Der Transformator wurde dann zwischenzeitlich gegen einen alten Reservetransformator ausgetauscht, der so lange in Betrieb gehalten werden konnte, bis er im vergangenen Jahr durch einen neu beschafften Transformator ersetzt werden konnte.

Die anschliessend erfolgte Revision des ausser Betrieb genommenen Transformators offenbarte eindrücklich die Präsenz einer sehr heissen Stelle (schlechte bzw. gebrochene Pressverbindung) und bestätigte somit, dass die Ausserbetriebnahme des Transformators voll und ganz gerechtfertigt war - ein weiteres Beispiel für eine erfolgreiche Transformatorenüberwachung im Rahmen von routinemässig durchgeführten Isolierölkontrollen.

Ein "Highlight" des Öllabors im Berichtsjahr war die Durchführung der diesjährigen FKH-Fachtagung, die mit dem Titel "Ölimprägnierte Hochspannungsisolationen, aktuelle Probleme" vielseitige Aspekte der Fest-/Flüssigisolationen zum Thema hatte (siehe hierzu Kapitel 10 in diesem Jahresbericht).

9. Entwicklungen und Investitionen

Im Berichtsjahr sind wichtige Planungs- und Entwicklungsarbeiten an neuen Prüfanlagen vorgenommen worden. Bei der im letzten Jahresbericht (2006) vorgestellten Resonanzdrossel für Wechselspannungsprüfungen an langen Kabelstrecken wurde die Auslegung gemeinsam mit dem Hersteller verfeinert. Die Prototypdrossel wird nun im Jahr 2008 realisiert.

Im Jahr 2007 haben die Inbetriebssetzungsversuche an der neuen Speisequelle für Transformatorenprüfungen begonnen (siehe auch Jahresbericht 2005). Das Kernstück besteht aus einem dreiphasigen 600-kVA-Frequenzumrichter. Die untersuchten Transformatoren werden für die Prüfung vor Ort von der Unterspannungs- oder Tertiärspannungsseite her erregt, wofür eine spannungs- und frequenzvariable Quelle hoher Leistung von entscheidendem Vorteil ist.

Der im Jahr 2006 beschaffte neue Anhänger für Erdungsmessungen wurde fertig eingerichtet (Bild 18). Aufgrund des stabilen Wagenkastens, der optimierten Installation, der zweckspezifischen Anordnung der Prüfkomponenten und Öffnungen konnte die Einrichtezeit für Erdungsmessungen verkürzt und die Durchführung der Messungen gegenüber dem früheren Prüfsystem im Mehrzweckanhänger wesentlich verbessert werden.

Bild 18 Neuer FKH-Anhänger für Erdungsmessungen

10. Veranstaltungen

FKH-Fachtagung

Am Mittwoch, den 14. November 2007 fand die jährliche Fachtagung der FKH in der Aula der Hochschule für Technik in Rapperswil statt. Die Fachveranstalltung mit dem Titel *„Ölimprägnierte Hochspannungsisolationen, aktuelle Probleme“* widmete sich der Öl-Papier-Isolation, welche sich über Jahrzehnte für die innere Isolation und Kühlung der Mehrzahl aller Transformatoren bestens etabliert hat. Die Tagung wurde durch den FKH-Präsidenten, Herrn Dr. Thomas Aschwanden, KWO moderiert.

Die gehaltenen Vorträge gewährten einen Überblick über die mannigfaltigen Aspekte des genannten Isolationssystems, wobei auch auf alternative Isolierflüssigkeiten zum Mineralöl eingegangen wurde.

Die Schwerpunkte der Tagung bildeten folgende Aspekte der ölimprägnierten Isolationen:

- Physikalische und chemische Eigenschaften
- Herstellung und Qualitätssicherung
- Alterungsverhalten und chemische Verträglichkeitsfragen
- Diagnosemethoden für die Zustandsbeurteilung
- Praxis der Instandhaltung

Bild 19 Blick in die Aula der Fachhochschule Rapperswil, in welcher die FKH-Fachtagung 2007 abgehalten wurde

Gehaltene Vorträge im Rahmen der Fachtagung	Referenten
Begrüssung, Einführung in das Tagungsthema	Dr. Thomas Aschwanden KWO, Kraftwerke Oberhasli AG
Zellulose und Mineralöl – die (fast) perfekte Hochspannungs-isolation	Christoph Krause Weidmann Electrical Technology AG
Zur Instandhaltung ölisolierter Apparate, Praxis der NOK	Martin Hässig, NOK Nordostschweizerische Kraftwerke AG
Die Alterung des Isolieröls in dielektrisch-chemischer Sicht	Dr. Hans-Josef Knab, FKH
Verfeinerte Test- und Herstellungsmethoden als Folge verschärfter Anforderungen an das Isolieröl	Helene Odelius Nynas Naphthenics AB
Bewertung von potentiell korrosivem Schwefel in Elektro-Isolierölen	Dr. Volker Null Shell Global Solutions
Esterflüssigkeiten als Kühl- und Isoliermedien für Transformatoren	Lutz Waldig IsoEst Handelsvertretung GbR
Aktuelle Themen der CIGRE auf dem Gebiet der Transformatoren	Pierre Boss ABB Sécheron SA, Chairman Cigré SC A2, Transformatoren
Ölspezifikationen – eine kritische Betrachtung	Dr. Ivanka Atanasova-Höhlein Siemens AG
Vor-Ort-Regenerierung von Isolierölen mit Fullererde	Paul Köstinger ABB Sécheron SA

Tagungsbände für diese Veranstaltungen und auch für frühere Fachtagungen sind bei der FKH zum Selbstkostenpreis erhältlich (siehe auch Internetseite der FKH: www.fkh.ch).

11. Zusammenarbeit mit Hochschulen / Nachwuchsförderung

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder von elektrischen Energieversorgungsanlagen

Dr. R. Bräunlich

Eingeladene Vorträge im Rahmen der Lehrveranstaltung „Technologie elektrischer Energiesysteme“, ETH Zürich, Departement Informationstechnologie und Elektrotechnik, am 8. Januar 2007 und 24. Oktober 2007.

Bild 20 Messung magnetischer Flussdichten in elektrischen Anlagen

12. Teilnahme an Fachveranstaltungen, Referate, Publikationen

Teilnahme an Fachtagungen, Referate

Dr. H.-J. Knab
Teilnahme an der Cigré WG D1.01.13 „Furans for Diagnostics“ in Nürnberg, 25./26. Januar 2007

Dr. H.-J. Knab
Teilnahme an der Fachtagung „Nachhaltige Energieübertragung mit sicheren Transformatoren“ in Hamburg, 11. Mai 2007

Dr. R. Bräunlich
Teilnahme am Highvolt-Kolloquium
Dresden, 14./15. Mai 2007

Dr. R. Bräunlich
Teilnahme an den Sitzungen des IEC TC 42 für Hochspannungs-Prüf- und -Messtechnik
Graz, 22. - 24. August 2007

Dr. S. Neuhold
Teilnahme am 15th ISH, Ljubljana (Slovenien) 27.-31.08.2007 mit dem
Referat: „Experiences with UHF PD Detection in GIS using External Capacitive Sensors on Windows and Disk-Insulators“

Dr. H.-J. Knab
Teilnahme an der Omicron-Fachtagung „Diagnose an Leistungstransformatoren“ in Bregenz, 18./19. September 2007
Vortrag: „Messungen an Isolierflüssigkeiten im Öllabor“

Dr. Th. Heizmann
CIGRE SC A2 & D1 - Colloquium
„Performance of conventional and new insulating materials for transformers; Reliability / Risk assessment of transformers in service; Reactors and related items”
Bruges (Belgien), 8. - 10. Oktober 2007

Dr. Th. Heizmann
Referat: „Vor-Ort-Teilentladungsmessung an Mittelspannungskabeln“
Nexans Seminar „Betriebsleiter“
Neuchâtel, 7. und 8. November 2007

Dr. H.-J. Knab
Teilnahme an der FKH-Fachtagung „Ölimprägnierte Hochspannungsisolationen, aktuelle Probleme“ in Rapperswil, 14. November 2007
Vortrag: „Die Alterung des Isolieröls in dielektrisch-chemischer Sicht“

Publikationen

Reinhold Bräunlich, Holger Däumling, Martin Hofstetter, Udo Prucker, Joachim Schmid, Ruthard Minkner, Hans-Werner Schlierf
Ferroresonanz an 220/420-kV-Spannungswandlern bei Schalthandlungen
etz, Heft 7/2007, S. 36-41

St. Neuhold, Th. Heizmann, R. Bräunlich, D. Köchli, U. Riechert, Ch. Dehne
„Experiences with UHF PD Detection in GIS using External Capacitive Sensors on Windows and Disk-Insulators“
15th ISH, Ljubljana (Slovenien) 27.-31.08.2007, paper T7-480, page 266

Th. Heizmann
„Vor-Ort-Teilentladungsmessung an Mittelspannungskabeln“
Nexans Seminar „Betriebsleiter“
Neuchâtel, 7. und 8. November 2007

Bild 21 Demonstration einer Erdungsmessung in einer Trafostation

13. 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 20 des CES: „Elektrische Kabel“
Mitglied: G. Storf

TK „Erdungssysteme“ des CES
Mitglied: Dr. R. Bräunlich
Mitglied: G. Storf

Ausschuss "Blitzschutz und Blitzforschung" (ABB) des VDE
Mitglied: Dr. Th. Heizmann

Cigré TC C4: "Power Systems Performance"
Mitglied: Dr. R. Bräunlich

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

14. 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

IBAarau Strom AG
5001 Aarau

Industrielle Werke Basel
4008 Basel

Kraftwerke Hinterrhein AG
7430 Thusis

Kraftwerke Oberhasli AG (KWO)
3862 Innertkirchen

Nordostschweizerische Kraftwerke AG (NOK)
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

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

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

Stadtwerk Winterthur
8402 Winterthur

Verzasca SA
6901 Lugano

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

AREVA T&D AG
5036 Oberentfelden

Brugg Kabel AG
5200 Brugg

EA Elektroarmaturen AG
8200 Schaffhausen

EcoWatt Projects AG
8852 Altendorf

Eidgenössisches Starkstrominspektorat
8320 Fehraltorf

Pöyry Energy AG
8037 Zürich

GMC-Instruments Schweiz AG
8052 Zürich

Haefely Test AG
4052 Basel

Maxwell Technologies SA
1728 Rossens

Nexans Suisse SA
2, rue de la Fabrique
2016 Cortaillod

OMICRON electronics GmbH
A-6833 Klaus

Pfiffner Messwandler AG
5042 Hirschthal

Pfisterer Ixosil AG
6460 Altdorf

Walter Rozner, Ing. Büro
3613 Steffisburg

Siemens Schweiz AG
8047 Zürich

Stationenbau AG
5612 Villmergen

LEONI Studer AG
4658 Däniken

Trench Switzerland AG
4052 Basel

Weidmann Electrical Technology AG
8640 Rapperswil

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

Hochschule für Technik + Architektur Chur
7000 Chur

Zürcher Hochschule Winterthur
8401 Winterthur

Elektrizitätswerk des Kt. Schaffhausen AG (Gönner)
8201 Schaffhausen

Mitgliederbestand per 31.12.2007

Verbände	2	(2)
Werksmitglieder	30	(30)
Industriemitglieder, Ingenieurbüros und weitere Mitglieder	23	(22)
Korrespondierende Mitglieder	10	(10)
Total Mitglieder per 31.12.2007	**65**	(64)

(Stand per 31.12.2006 in Klammern)

15. Informationsbroschüren der FKH

- Leistungstransformator-Diagnose / Diagnostic de transformateurs de puissance / Diagnosis of power transformers
- Kabelprüfungen und Kabeldiagnose vor Ort / Essais de câbles et essais diagnostiques sur site / On-Site Cable Testing and Diagnosis
- 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 22 150-kV-Regeltransformator, einer 400-MVA-Trafogruppe (400 kV / 150 kV) Fremdspannungsprüfung mit Resonanzkreis vor Ort