



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

Dienstleistungsangebot der FKH





Inhalt

Was ist die FKH?	4
Kabelprüfungen	6
Schaltanlagenprüfungen	8
Erdungsmessungen	10
Transformatorprüfungen und -diagnosen	12
Isolierölanalysen	14
Studien und Beratungen	16
Infrastruktur Niedergösgen	18

Was ist die FKH?

Die Fachkommission für Hochspannungsfragen (kurz FKH) ist ein gemeinnütziger Verein, der eine breite Palette moderner Prüfdienstleistungen an Komponenten der Hochspannungsnetzinfrastruktur anbietet. Mit ihren FachexpertInnen und den vorwiegend mobilen Testanlagen hat sich die FKH auf Vor-Ort-Prüfungen, flexible Prüfaufbauten in unserem Labor sowie Diagnosemessungen und -analysen an elektrischen Hochspannungsbetriebsmitteln spezialisiert. Unsere Mitglieder und Auftraggeber unterstützen wir ausserdem mit fachlicher Beratung sowie Studien betreffend den Qualitätszustand, das Betriebsverhalten und die Umweltverträglichkeit von Hochspannungsnetzkomponenten.

Die FKH bildet für ihre Mitglieder eine Plattform für den Wissensaustausch und unterstützt den Nachwuchs an Fachleuten. Sie greift übergeordnete technische Problemstellungen aus dem Bereich der elektrischen Energieversorgungsinfrastruktur auf und erarbeitet in Zusammenarbeit mit Fachgremien technische Empfehlungen. Die FKH setzt sich für die Weiterentwicklung und Rationalisierung der Prüfmethoden ein. Das oberste Ziel der FKH bleibt dabei stets die Förderung einer hohen Verfügbarkeit der Betriebsmittel im Hochspannungsnetz. Diese Broschüre soll Ihnen einen Überblick über unsere Organisation, unsere Ziele und unsere Standarddienstleistungen bieten.



Abbildung 1: Kabelprüfung mit Seriersonanzdrosseln

Leitbild

Die neutrale und unabhängige FKH verfolgt gemeinnützige Zwecke durch die Bereitstellung von Prüf- und Diagnosedienstleistungen sowie Expertisen auf dem Gebiet der elektrischen Energieversorgung und der Hochspannungstechnologie. Durch die Vereinstätigkeit sollen die permanente Verfügbarkeit sowie die langfristige Leistungsfähigkeit und die Sicherheit der Versorgung mit elektrischer Energie in der Schweiz gefördert werden.

Die Ziele der FKH sind seit ihrer Gründung 1937 ausschliesslich technischer Natur. Die FKH verfolgt keine eigenwirtschaftlichen Ziele. Die finanziellen Mittel des Vereins dürfen nur für statutenkonforme Zwecke verwendet werden. Durch Eigenentwicklung auf dem Gebiet der Prüf- und Messtechnik, wissenschaftliche Publikationen und aktive Mitarbeit in internationalen Normen- und Fachgremien trägt die FKH global zur Weiterentwicklung der Prüfmethodik bei. Mit der Organisation von Fachtagungen und Erfahrungsaustauschplattformen fördert die FKH den Wissenstransfer über neue wissenschaftliche Erkenntnisse und praktische Erfahrungen in der Schweiz. Indem die FKH aktive Kontakte zur ETH Zürich und zur ETH Lausanne sowie zu Fachhochschulen pflegt und an Forschungsprojekten teilnimmt, trägt sie zur Steigerung der Attraktivität der energietechnischen Disziplinen bei und fungiert als Brücke zwischen den Schweizer Hochschulen und den Unternehmen der Elektroenergietechnik.

Die Mitarbeitenden der FKH unterstützen Sie als Auftraggeber bei der Inbetriebnahme und der Diagnose von hochspannungstechnischen Betriebsmitteln, mit Prüfdienstleistungen vor Ort und in der FKH-Versuchsstation. Falls angezeigt, helfen sie effizient, Probleme zu identifizieren, zu lokalisieren und zu beheben. Bei der Beantwortung auftretender Fragestellungen wird auf wissenschaftliche Methodik und spezialisierte, sensitive Prüftechnik gesetzt.

Die FKH setzt sich aus einem erfahrenen, eingespielten Team von Prüf- und MessexpertInnen zusammen, das bei Bedarf schnell reagieren und selbst komplexe Prüfkampagnen durchführen

kann. Die FKH bietet einen umfassenden Service, der von der Beratung zu Prüfkriterien und der Planung bis hin zur Durchführung der Prüfung mit eigenen Prüf- und Messgeräten reicht.

Als Beratungsdienstleistung bietet Ihnen die FKH theoretische und experimentelle Studien, Untersuchungen und Prüfungen zur Klärung aller Fragen und Erscheinungen an, die bei der Planung, dem Bau und dem Betrieb von Energieversorgungsanlagen, insbesondere auf den Gebieten der Hochspannungs- und der Hochstromtechnik auftreten. Weiter werden auch eigenständige praxisorientierte Forschungsaktivitäten in Zusammenarbeit mit Hochschulen, Herstellern und Netzbetreibern angeboten.

Infrastruktur

Neben mobilen und modularen Systemen von Serienresonanzanlagen, Transformatorprüfquellen, Erdungsmessanlagen und Stossanlagen (Blitzstoss BIL, Schaltstoss SIL und schwingender Blitzstoss OLI) verfügt die FKH über Prüfmöglichkeiten und Prüflabors in Niedergösgen. Dazu gehören ein Freiluftprüffeld, ein Kleinlabor für kleinere Messaufbauten und ein grosses Prüflabor, das flexibel für verschiedene Prüfungen verwendet werden kann. Komplettiert werden diese Anlagen und Möglichkeiten durch einzelne logistische Hilfsmittel inklusive Fahrzeugen, die als mobile Messbüros verwendet werden können.

Zusätzlich verfügt die FKH über ein akkreditiertes Labor für Isolierölanalysen. Neben dielektrisch-chemischen Analysen stehen auch spektroskopische Methoden mit GC, HPLC und FTIR zur Verfügung.

FKH-Mitglieder

Die FKH ist ein Verein, zu dessen Mitgliedern Energieversorgungsunternehmen (EVU), Kraftwerksbetreiber, Bahnen, Hersteller, Branchenverbände und Hochschulen gehören.



Abbildung 2: Serienresonanzanlage im grossen Prüflabor

Als Mitglied der FKH geniessen Sie einen Mitgliederrabatt auf Eigenleistungen der FKH für Prüfdienstleistungen oder Studien. Zusätzlich erhalten Mitarbeitende von Mitgliedsfirmen bei der Teilnahme an der alljährlich organisierten Fachtagung eine Vergünstigung.

Qualität und Sicherheit

Die FKH bietet ihre Dienstleistungen nach international anerkannten Normen an und betreibt ein nach ISO 9001 und ISO 45001 zertifiziertes Managementsystem.

Das Isolieröllabor ist als Prüfstelle Typ B für Isolieröl und Buchholzgas nach der Norm ISO/IEC 17025 akkreditiert.



Abbildung 3: Ölproben für die Analyse von Zersetzungsgasen

Für weitere Informationen wenden Sie sich an

info@fkh.ch

Kabelprüfungen

Die heute weltweit eingesetzte Vor-Ort-Wechselspannungsprüftechnik an Hochspannungskabeln wurde gemeinsam von der ETH Zürich und der FKH entwickelt und in den 1980er-Jahren von der FKH eingeführt. Sie beruht auf dem Serieresonanzprinzip mit abstimmbarer Frequenz. In Ergänzung zur Spannungsprüfung werden verschiedene Diagnosemethoden, insbesondere Teilentladungsmessungen angeboten.

Hochspannungsprüfungen an Kabelanlagen

Vor Inbetriebnahme einer neuen Kabelanlage oder nach Abschluss von grösseren Umbauarbeiten an einer bereits bestehenden empfiehlt sich eine Spannungsprüfung, um Fehler bei der Montage der Endverschlüsse oder Kabelmuffen sowie Beschädigungen des Kabel- oder Halbleiterbelags auszuschliessen.

Mit den Hochspannungskabel-Serieresonanzprüfungen, welche die FKH seit den 1980er-Jahren durchführt, verfügt sie weltweit über die mit Abstand umfangreichste Erfahrung im Bereich der Kabelprüfungen. Auf Basis dieser Erfahrung hat sich in der Schweiz, mit einer Prüfdauer von 15 Minuten und einer leicht höheren Spannung, ein strengeres Prüfverfahren durchgesetzt, als dies in den heutigen Normen empfohlen wird.

Serieresonanzprüfungen

Im Prüfkreis wird in Serie zur Prüflingskapazität eine Induktivität hoher Güte geschaltet. Unter Resonanzbedingungen baut sich über dem Prüfling eine Spannung auf, welche wesentlich höher ist als die Spannung des Einspeisetransformators.

Für die Wechselspannungsprüfungen an längeren XLPE- und EPR-isolierten Kabelstrecken kommen wegen des grossen Ladestroms bzw. der hohen Blindleistung praktisch nur Serieresonanzanlagen als Hochspannungsprüfquellen infrage. Die Prüfung von Ölkabelanlagen ist nach diesem Prinzip ebenfalls möglich. Durch die modularen Induktivitäten lässt sich die Prüfanlage für eine ausreichend hohe Prüffrequenz konfigurieren, sodass in GIS integrierte Hochspannungswandler nicht in magnetische Sättigung geraten und deshalb für die Prüfung nicht ausgebaut werden müssen.

Die Vorteile der Serieresonanzmethode liegen in der geringen erforderlichen Einspeiseleistung, selbst beim Testen längerer Kabelanlagen. Die Spannung am Prüfling ist zudem sinusförmig und oberwellenfrei. Bei einem Durchschlag des Prüflings führt der minimale Energieumsatz an der Fehlerstelle zu einem reduzierten Schaden im Vergleich zu einem ähnlichen Ereignis im

	Nennspannung verkettelt		maximale verkettelte Spannung		Spannungstest im Werk			TE-Messung im Werk und vor Ort		vor Ort - neue Kabel					vor Ort - gealterte Kabel				
	U	U _m	U ₀	#	*U ₀	U _p	Dauer	#	*U ₀	nach IEC		nach CH / FKH			nach CH / FKH				
	[kV]	[kV]	[kV]							#	[kV]	#	[kV]	Dauer	*U ₀	U _p	t	#	U _p
IEC60840	45 - 47	52	26	2.5	65	30	1.5	39	2.0	52			60	2.2	57	15	2.0	52	15
	60 - 69	72.5	36	2.5	90	30	1.5	54	2.0	72			60	2.2	80	15	2.0	72	15
	110 - 115	123	64	2.5	160	30	1.5	96	2.0	128			60	2.2	140	15	2.0	128	15
	132 - 138	145	76	2.5	190	30	1.5	114	1.7	132			60	2.2	167	15	2.0	152	15
	150 - 161	170	87	2.5	218	30	1.5	131	1.7	150			60	2.2	190	15	2.0	174	15
IEC62067	220 - 230	245	127	2.5	318	30	1.5	190	1.4	180	1.7	216	60	2.0	254	15	1.7 ¹⁾	216	15
	275 - 287	300	160	2.5	400	30	1.5	240	1.3	210	1.7	272	60	2.0	320	15	1.7 ¹⁾	272	15
	380 - 400	420	220	2.0	440	60	1.5	330	1.2	260	1.7	374	60	1.8	400	15	1.7 ¹⁾	374	15

Abbildung 4: FKH-Prüfempfehlung für Kabelanlagen

¹⁾ Die nachzuweisende Isolationsreserve soll den geplanten Weiterbetrieb des Kabelsystems mitberücksichtigen. Die notwendige Reserve ergibt sich aus der geforderten Restlebensdauer für das Kabelsystem sowie der Höhe der zu erwartenden Überspannungen im Betrieb. Letztere können aufgrund der bisherigen Betriebserfahrung oder aus Überlegungen der Isolationskoordination abgeschätzt werden. Wird für Kabelsysteme nur noch eine geringe Restbetriebsdauer angestrebt und sind aufgrund der Betriebssituation des Kabels Überspannungen unwahrscheinlich, kann der Prüfspannungsfaktor für Systeme ab 220 kV auf 1.5 reduziert werden.



Abbildung 5: Serieresonanzanlage für eine Kabelprüfung ohne Teilentladungsmessung

Betrieb. Mehrere Kabelverbindungen können über eine Schaltanlage gemeinsam geprüft werden, dies bedeutet kein Risiko für die mitgeprüfte Schaltanlage.

Teilentladungsmessung

Bei wichtigen Kabelstrecken und höheren Spannungsebenen wird zusätzlich eine Teilentladungsmessung empfohlen. Hierbei werden gezielt die Endverschlüsse und Muffen auf Isolationsfeh-

ler überprüft. Fehlerhafte Stellen, die noch keinen unmittelbaren Durchschlag zur Folge haben, jedoch das Risiko eines unerwarteten Isolationsversagens bergen, können so erkannt werden. Mit den modernen Teilentladungsmessgeräten, die von der FKH eingesetzt werden, ist es möglich, zeitsynchron an verschiedenen Stellen zu messen. Um alle Messstellen gleichzeitig zu erfassen, müssen vorgängig LWL-Verbindungen zwischen allen Sensoren verlegt werden.



Abbildung 6: Resonanzprüfanlage für ein 220-kV-Kabelsystem mit Teilentladungsmessung

Angebot Kabelprüfungen	Bemerkungen
Wechselspannungsprüfung	Serieresonanzprüfungen für Kabelsysteme aller Spannungsebenen Flexible Anordnung der Resonanzdrosseln für hohe Spannungen und/oder für lange Kabelsysteme Dient der Kontrolle der Montage vor Ort und der Isolationsfestigkeit der einzelnen verbauten Teile
Wechselspannungsprüfung mit Teilentladungsmessung	Teilentladungsmessung während Wechselspannungsprüfung mit Auskopplung der Teilentladungen an allen Kabelgarnituren (Endverschlüsse und Muffen). Wird vor allem ab der 220-kV-Spannungsebene oder bei systemrelevanten Kabelsystemen empfohlen
Impedanzmessungen	Impedanzmessung von Kabelanlagen auch in Kombination mit Freileitungen
Mantelprüfungen	Mantelprüfungen zur Kontrolle des Mantels nach dem Kabelzug und der Montage der Kabelgarnituren

Tabelle 1: Angebot im Rahmen von Kabelprüfungen

Für weitere Informationen wenden Sie sich an

kabel@fkh.ch

Schaltanlagenprüfungen

Schaltanlagen stellen wichtige Netzknoten dar, welche eine sehr hohe Verfügbarkeit aufweisen müssen. Die geplante Nutzungsdauer beträgt 35–50 Jahre, während denen das Isolationssystem der Anlagen allen Spannungsbeanspruchungen wartungsfrei standhalten muss. Statistiken zeigen auf, dass ca. 50% der dielektrischen Fehler im Betrieb bereits zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme vorhanden waren.

Die FKH prüft seit Jahrzehnten regelmässig gasisolierte Hochspannungsanlagen (GIS). Auch in der Mittelspannung werden regelmässig Schaltanlagen (GIS und AIS) geprüft. Sowohl bei klassischen SF₆-gefüllten Anlagen als auch bei Anlagen mit alternativen Isoliertgasgemischungen verschiedener Hersteller kann die FKH durch ihre grosse Erfahrung effizient Fehler identifizieren und lokalisieren.

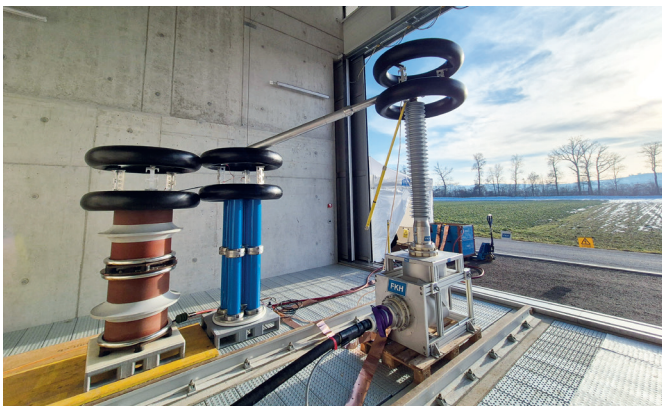


Abbildung 7: Hochspannungsprüfanlage für eine 145-kV-GIS-Prüfung (Spannung über Prüfkabel Connex Gr. 6)

Veranlassung und Nutzen von Hochspannungsprüfungen und Diagnosemessungen

Eine Schaltanlage wird typischerweise bei der Inbetriebnahme einer Spannungsprüfung inkl. Teilentladungsmessung unterzogen. Auch bei einer Erweiterung einer Anlage ist eine vollständige Prüfung sinnvoll. Bei einer Havarie oder nach dem Ansprechen eines TE-Monitoringsystems sind Teilentladungsmessungen angezeigt zur vertiefteren Analyse. Diese können je nach Gegebenheit auch im Betrieb durchgeführt werden.

Die FKH gibt ihren Kunden Empfehlungen für Prüfspezifikationen und Prozeduren für die Schaltanlagen und unterstützt sie damit von der Ausschreibung bis hin zur Isolationsprüfung nach der Montage vor Ort. Bei Havarien oder Schadenfällen hilft sie bei der Diagnose und der Ermittlung der Ursachen und steht Ihnen jederzeit mit ihrer Erfahrung zur Seite.



Abbildung 8: Hochspannungsprüfanlage für eine 420-kV-GIS-Prüfung (Spannung via Freiluftdurchführung)

Prüf- und Messmöglichkeiten

Die FKH verfügt über die notwendigen Prüf- und Messeinrichtungen, um eine Schaltanlage zu prüfen, die Fehlerstelle zu lokalisieren, zu charakterisieren und den Fehlertyp einzugrenzen. Die Anlagen werden mit Wechselfeldspannung mithilfe einer Serienresonanzanlage der Spannungsprüfung unterzogen. Dabei können die Teilentladungen nach Bedarf konventionell nach IEC oder bei gasisolierten Schaltanlagen über die integrierten UHF-Sensoren gemessen werden. Für die Ortung von Durchschlägen oder Teilentladungen können diverse Hilfsmittel eingesetzt werden. Einerseits kann eine Grobortung bereits mit der Sektionierung der Anlage durchgeführt werden, andererseits kann mit elektrischen Laufzeitmessungen oder Methoden der akustischen TE-Ortung die genauere Position der TE-Quelle bestimmt werden.



Abbildung 9: Prüfung einer Mittelspannungsschaltanlage



Abbildung 10: UHF-TE-Messplatz mit Multiplexer, Spektrumanalysator und Oszilloskop

Die schmalbandige UHF-TE-Messmethode mithilfe der Selektion der Messfrequenz zusammen mit 50-dB-Vorverstärkern kann insbesondere auch kritische Fehler mit sehr geringer TE-Amplitude (wie z.B. Partikel auf Isolierstoff mit typischer Ampli-

tude $< 0.5 \text{ pC}$) klar erkennbar machen. Solche Fehler könnten bei transienter Beanspruchung (z.B. Blitzeinschlag oder Schalttransienten) zu einem Durchschlag im Betrieb führen.

Angebot Schaltanlagen	Bemerkungen
Spannungsprüfung mit UHF-Teilentladungsmessung	AC-Haltespannungsprüfung für 1 Minute mit anschliessender UHF-Teilentladungsmessung über die eingebauten UHF-Sensoren zur Überprüfung der Isolationsfestigkeit nach der Montage vor Ort Vorgängig Cigré Sensitivity Check Step 2 zum Nachweis der Sensitivitäten der eingebauten Sensoren (Funktion, Anzahl, Verteilung)
Spannungsprüfung mit Teilentladungsmessung	AC-Haltespannungsprüfung für 1 Minute mit Teilentladungsmessung über einen externen Koppelkondensator zur Überprüfung der Isolationsfestigkeit nach der Montage vor Ort Vor allem bei Mittelspannungsschaltanlagen oder wenn keine UHF-Sensoren zur Verfügung stehen
Spannungsprüfungen	AC-Haltespannungsprüfung für 1 Minute Vor allem bei Mittelspannungsschaltanlagen Mindestanforderung zur Überprüfung der Isolationsfestigkeit
Widerstandsmessungen	Widerstandsmessung phasenweise von Feld zu Feld Zur Kontrolle der Kontaktübergänge
Online-UHF-Teilentladungsmessungen	UHF-Teilentladungsmessung über die eingebauten UHF-Sensoren Zur Zustandskontrolle bei Verdacht oder problematischen Gasanalysewerten
Zustandsbeurteilung	Nach Havarien oder problematischen Gasanalysewerten

Tabelle 2: Angebot im Rahmen von Schaltanlagenprüfungen

Für weitere Informationen wenden Sie sich an

gis@fkh.ch

Erdungsmessungen

Zur Überprüfung und Beurteilung der Wirksamkeit der Erdungsanlage von Unterwerken und anderen Starkstromanlagen führt die FKH Erdungsmessungen mit einem kompakten, mobilen Prüfsystem durch.

Messprinzip

Bei der Strom-Spannungs-Methode wird ein Erdschlussstrom durch einen mobilen 42-kVA-Frequenzumformer erzeugt und in eine definierte Erdschlusschleife eingespeist, welche die Erdungsanlage einschliesst. Nach Möglichkeit wird dafür eine ausser Betrieb stehende Frei- oder Kabelleitung verwendet, die in der Gegenstation geerdet wird. Kann die Stromquelle nicht beim zu untersuchenden Unterwerk aufgestellt werden, besteht die Möglichkeit der Einspeisung auf der Gegenseite.

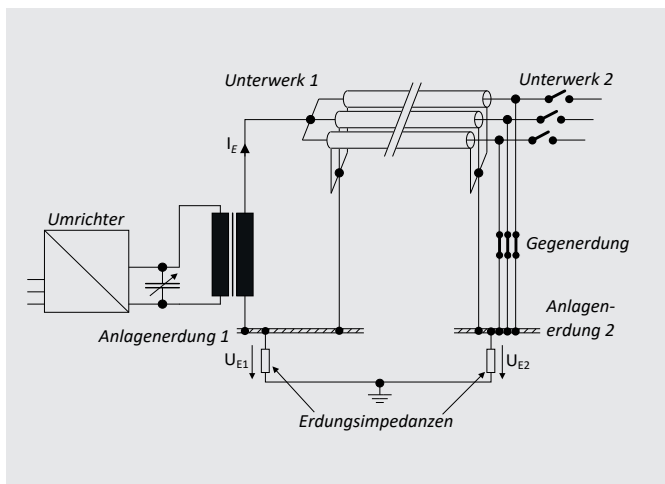


Abbildung 11: Schema der Messung nach der Strom-Spannungs-Methode

Durch den Strom zwischen den Erdungssystemen des untersuchten Unterwerks und der Station mit der Gegenerdung entstehen die Erdungsspannungen U_{E1} bzw. U_{E2} . Diese erlauben die Messung der Einwirkspannungen und die Bestimmung der Stromverteilung. Alle Messergebnisse werden auf den maximalen Erdschlussstrom der untersuchten Anlage hochgerechnet.



Abbildung 12: Mobile Quelle für die Erzeugung des experimentellen Erdschlussstroms

Der Frequenzumrichter erzeugt eine betriebsfremde Frequenz (z.B. 57 Hz bei 50-Hz-Anlagen). Zur Impedanzanpassung wird die Quelle über einen Anpasstransformator und eine variable Kompensationskapazität mit der Versuchsleitung verbunden. Der von der Betriebsfrequenz abweichende experimentelle Erdschlussstrom ermöglicht eine eindeutige Trennung der versuchsbedingten von den betriebsmässigen Erdströmen. Zur Ermittlung der Einwirkspannungen und des Potenzialtrichters setzt die FKH Messgeräte mit digitalen Filtern ein. Diese verhindern eine Beeinflussung der Messergebnisse durch den 50-Hz-Anlagenbetrieb oder durch 16.7-Hz-Bahnströme.

Bestimmung von Einwirkspannungen

Innerhalb der Anlage und in der Umgebung werden Berührungs-, Schritt- und Differenzspannungen gemessen. Die ermittelten Messwerte werden auf der Grundlage der geltenden Starkstromverordnung bzw. der Guideline SNG 483755, 2023: «Erden als Schutzmassnahme in elektrischen Starkstromanlagen» beurteilt.

Messung der Anlagen-Erdungsimpedanz

Der Verlauf des Trichterpotenzials wird durch die Messung eines oder mehrerer radialer Spannungsprofile bis in den Bereich der Neutralerde erfasst. Die Potenzialdifferenz zwischen Neutralerde und Anlagenerde wird auf den eingespeisten Erdschlussstrom bezogen. Aus diesem Verhältnis wird näherungsweise die wirk-

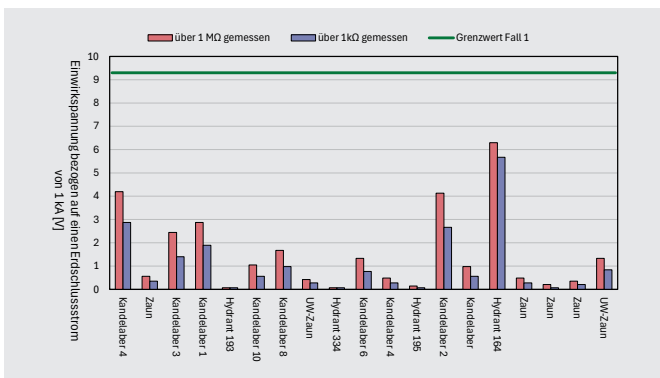


Abbildung 13: Berührungsdifferenz und Schrittspannung bezogen auf 1 kA Erdkurzschlussstrom

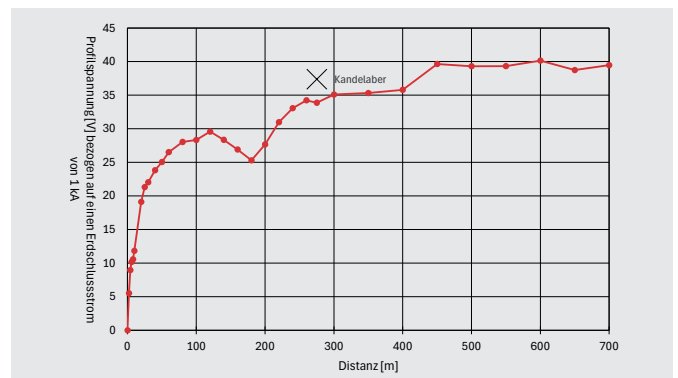


Abbildung 14: Spannungstrichterprofil

same Erdungsimpedanz der Anlage bestimmt. An der für die Erdschlussschleife verwendeten Leitung werden die Mit- wie auch die Nullimpedanz gemessen.

Messung der Erdschlussstromverteilung

Auf allen Leitungen und metallischen Verbindungen, die den Anlagebereich verlassen, wird der Erdschlussstromanteil in Betrag und Phase erfasst. Dazu gehören u.a. Erdungsverbindungen, Erdseile von Freileitungen, geerdete Schirme von Energie- und Signalkabeln, Druckleitungen und Bahntrassen. Diese Untersuchung gibt Aufschluss über die Stromaufteilung bei einem

Erdschluss und ermöglicht die Überprüfung der Wirksamkeit der Erdverbindungen. Zudem können mögliche Beeinflussungsprobleme durch Erdströme erkannt werden.

Dokumentation

Nach Abschluss der Erdungsmessung erstellt die FKH einen Bericht, der die Auswertung der Messergebnisse beinhaltet. Die Wirksamkeit der Erdungsanlage und die im Erdschlussfall auftretenden Einwirkspannungen werden beurteilt und dokumentiert. Bei unzulässig hohen Berührungs-, Schritt- und Differenzspannungen werden geeignete Abhilfemassnahmen vorgeschlagen.

Angebot Erdungsmessungen	Bemerkungen
Erdungsmessungen von Unterwerken	Wird gemäss SNG 483755, 2023 alle zehn Jahre gefordert Erdungsanhänger mit einer Stromquelle mit integrierter Kompensationseinheit
Erdungsmessungen von Mastanlagen	Ein mobiles Messgerät für Mastimpedanzmessungen steht zur Verfügung
Untersuchung elektromagnetischer Beeinflussung durch elektrische Anlagen oder Leistungen	Mit mobilen Messgeräten werden diverse Kenngrößen überprüft

Tabelle 3: Angebot im Rahmen von Erdungsmessungen

Für weitere Informationen wenden Sie sich an

erdungen@fkh.ch

Transformatorprüfungen und -diagnosen

Vor-Ort-Prüfungen werden sowohl für neue als auch für betriebsgealterte Transformatoren durchgeführt. Bei Abnahmemessungen im Rahmen der Inbetriebsetzung stehen die Kontrolle der Montage und der Ölprägung sowie die Charakterisierung des Transformators zum späteren Vergleich (Fingerprint im Neuzustand) im Vordergrund. Diagnosemessungen an betriebsgealterten Transformatoren dienen entweder der Ermittlung des Isolationszustands oder der Entscheidungsfindung über den weiteren Einsatz. Hieraus können Instandhaltungsmassnahmen und die Planung zukünftiger Kontrollen abgeleitet werden. Andererseits kann im Fehlerfall (z.B. Auslösung des Buchholzrelais, Auffälligkeiten bei den Isolierölanalysen) mit Diagnosemessungen dessen Ursprung bestimmt und die notwendigen Revisions- und Reparaturarbeiten geplant werden.



Abbildung 15: Hochspannungsprüfanlage inkl. Kompensationsdrosseln und Kabeln für die Prüfung einer grossen Leistungstransformatorbank

Hochspannungsprüfung mit Teilentladungsmessung mit elektrischer und akustischer Detektion

Die Offline-TE-Messung an einem Transformator stellt die aussagekräftigste Prüfung zur Aufdeckung lokaler Isolationschwachstellen dar und dient der Fehleridentifikation. Sie wird üblicherweise bei 120% der Bemessungsspannung während 60 Minuten durchgeführt. Wenn immer möglich werden an allen vorhandenen Anschlüssen Teilentladungen elektrisch ausgekoppelt und aufgezeichnet. Hierzu steht ein modernes

Teilentladungsmesssystem zur Verfügung, mit dem auch grosse Leistungstransformatoren vollständig (an allen Anschlüssen) geprüft werden können. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit, Teilentladungen auch mit der UHF-Messmethode zu detektieren, sofern UHF-Sensoren verbaut sind.



Abbildung 16: Teilentladungsmessung mit mobilem Messbüro (im Transporter) und Prüfanhänger

Diagnose- und Fingerprintmessungen

Zusätzlich verfügt die FKH über ein breites Wissen und langjährige Erfahrung in der Diagnostik von Transformatoren. Es gibt diverse Diagnoseverfahren, die einerseits zum regelmässigen Check und andererseits für die Fehlerfindung eingesetzt werden können.

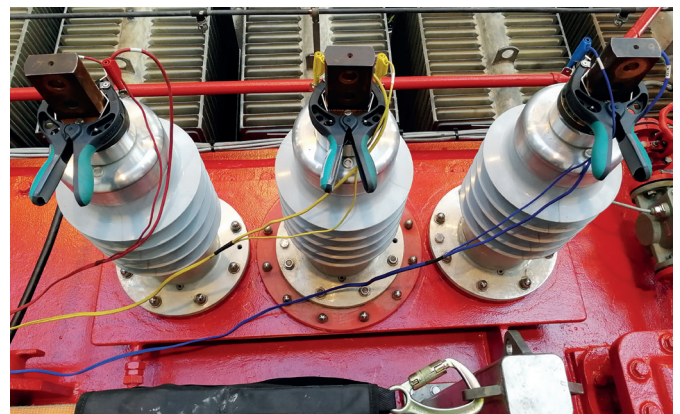


Abbildung 17: US-Durchführungen mit Verkabelung für DC-Widerstands- und Übersetzungsmessungen

Angebot Transformatoren	Bemerkungen
Wechselspannungsprüfung mit Teilentladungsmessung	Dreiphasige Wechselspannungsprüfung bei 1.2 U _r für 60 Minuten mit Teilentladungsmessung UHF-Messung möglich, wenn Sensoren vorhanden sind Spannungsverteilung analog zum Normalbetrieb (Leerlauf)
Statische Wicklungswiderstandsmessung	4-Leiter-Widerstandsmessung Kontrolle der Funktionalität von Stufenschaltern und Stufenwechslern
Dynamische Wicklungswiderstandsmessung (OLTC-Scan)	4-Leiter-Widerstandsmessung Diagnose von Stufenschaltern durch Messungen der Kommutierungskennlinien während des Schaltvorgangs
Übersetzungsmessungen	Vergleich der angelegten Spannung an den OS-Anschlüssen mit der resultierenden Spannung an den US-/MS-Anschlüssen
Magnetisierungsstrommessung	Aufzeichnen der Magnetisierungsstromkennlinie Erkennung von Schäden am Eisenkern
FRA-Messung (Frequency Response Analysis)	Anlegen einer Wechselspannung mit variabler Frequenz und fixer Amplitude an einen Anschluss Messen der Frequenzantwort an einem anderen Anschluss Diagnose durch Vergleich der Frequenzantworten mit Messungen bei Inbetriebnahme oder im Werk Erkennen von Veränderungen in der Geometrie (z.B. deformierte Wicklung)
PDC-/FDS-Messung (Polarisation / Depolarisation Current / Frequency Domain Spectroscopy)	Feuchtigkeitsbestimmung der Zellulose Anlegen einer Gleichspannung an einer Wicklung und empfindliche Strommessung an der zweiten Wicklung PDC: Messung im Zeitbereich FDS: Messung im Frequenzbereich
Isolationwiderstandsmessung	Messung für 1 Minute mit einer Gleichspannung Kontrolle der Isolation
C-tan(δ)-Messung an Durchführungen und Wicklungen	Messung der Kapazitäten und Verlustfaktoren Messungen bei verschiedenen Spannungen (bis zu 12 kV) und Frequenzen Kontrolle der Isolation der Wicklung bzw. der Durchführungen

Tabelle 4: Angebot im Rahmen von Prüfungen und Messungen an Transformatoren

Für weitere Informationen wenden Sie sich an

trafo@fkh.ch



Isolierölanalysen

Analysen der Isolierflüssigkeit sind ein Schlüssel für die Zustandsbeurteilung von Betriebsmitteln des elektrischen Netzes. Das Isolieröllabor der FKH bietet ein breites Angebotsspektrum, besonders genaue Analysen und zuverlässige Interpretationen durch Experten an. Durch die zentrale Lage in der Schweiz können unsere Kunden ortsnahe bedient werden. Das Isolieröllabor arbeitet nach internationalen Normen und ist nach ISO 17025 (Swiss Testing STS 581) akkreditiert sowie nach ISO 9001 und 45001 zertifiziert. Das Öllabor führt schweizweit Probenahmen an Transformatoren selbst durch. Bei kritischen Ergebnissen kann die FKH fachkundige Unterstützung bei weiteren diagnostischen Untersuchungen leisten, da sie über langjährige Erfahrung in der Prüfung von Hochspannungsgeräten verfügt.

Dielektrisch-chemische Analyse

Bei der dielektrisch-chemischen Analyse nach IEC 60422 wird aus Kennzahlen des Isolieröles der Alterungszustand des Öl-Papier-Isoliersystems bestimmt. Die Durchschlagsspannung ermöglicht eine Aussage über die momentane Isolierfähigkeit des Öles. Die Neutralisationszahl (Säurezahl) und die Grenzflächenspannung weisen sehr sensibel auf den Oxidationszustand des Isolieröles und die Alterung des gesamten Öl-Papier-Isoliersystems hin. Sie sind frühe Indikatoren für das Ausfällen von Schlamm. Ein erhöhter Wassergehalt verschlechtert die Isoliereigenschaft

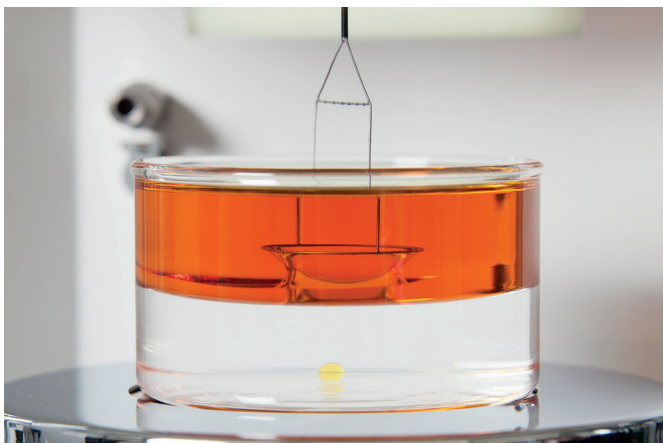


Abbildung 18: Messung der Grenzflächenspannung

des Öles drastisch und beschleunigt die Alterung von Papier und Pressboard. Der Verlustfaktor Tangens Delta ist ein empfindliches Mass für die Bildung leitfähiger Alterungsprodukte und für Kontaminationen des Öles. Farbzahl und Aussehen sind einfache, doch aussagefähige Indikatoren für die Ölalterung. Aus dem Inhibitorgehalt kann die Alterungsdynamik abgeschätzt und rechtzeitig eine Nachinhibierung eingeleitet werden.

Furananalyse

Bei der thermischen Alterung der Feststoffisolation (Zellulose) bilden sich verschiedene Furanderivate. Mit der Analyse der im Öl gelösten Furane kann die mechanische Festigkeit der Feststoffisolation (Papier, Pressboard) beurteilt werden.



Abbildung 19: Vials mit Öl für die Zersetzungsgasanalyse im GC

Zersetzungsgasanalyse

Die Bestimmung der im Öl gelösten Gase (IEC 60567 und 60599) ermöglicht eine Aussage über sich anbahnende Fehler, insbesondere die örtliche thermische Überlastung des Isolationssystems oder Teilentladungen.

Oxidationsstabilität

Während der Prüfung der Oxidationsstabilität gemäss IEC 61125 wird das Öl in einem beschleunigten Alterungstest auf seine Qualität geprüft und das voraussichtliche Verhalten während der Lebensdauer abgeschätzt.

Spezialprüfungen

Unser Labor kann für Spezialprüfungen angefragt werden. In Absprache mit dem Auftraggeber werden die verschiedenen Optionen diskutiert.



Abbildung 20: Ölprobenahme an einem Transformator

Notfalldienst

Bei einem Störfall, wie z.B. einer Buchholzwarnung, entnimmt ein Mitarbeiter der FKH in der Regel innerhalb weniger Stunden eine Probe und analysiert diese bereits vor Ort oder im Labor.

Analysebericht

Unser Analysebericht enthält den Vergleich zu früheren Messergebnissen, eine individuelle Beurteilung und eine praktische Handlungsempfehlung für das geprüfte Betriebsmittel. Der Bericht wird durch Experten erstellt. Im Fall kritischer Befunde wird der Auftraggeber unverzüglich benachrichtigt und beraten.

Angebot Isolierölanalysen	Bemerkungen
Dielektrisch-chemische Analyse	Farbzahl, Aussehen, Wassergehalt, Säurezahl, Grenzflächenspannung, Verlustfaktor und Durchschlagspannung nach IEC 60422 Einzelmessungen aus der dielektrisch-chemischen Analyse
Zersetzungsgasanalyse	Gaschromatographische Analyse mit Headspace-Verfahren nach IEC 60567 und 60599
Furanalyse	HPLC-Analyse mit Separation einzelner Furanderivate nach IEC 61198
Bestimmung des Inhibitorgehalts	Analyse des Infrarotspektrums mittels FTIR nach IEC 60666
Test der Oxidationsstabilität	Beschleunigte Alterung nach IEC 61125
Buchholzgas-Analyse	Gaschromatografische Analyse
PCB-Bestimmung	Farbreaktionstest (Colorimetrie)
Test auf korrosiven Schwefel	Alterungstest nach DIN EN 62535

Tabelle 5: Angebot des Isolieröllabors

Für weitere Informationen wenden Sie sich an

oellabor@fkh.ch

Studien und Beratungen

Für die Auslegung, die Auswahl und den sicheren Betrieb elektrischer Anlagen sind aussagekräftige Berechnungen entscheidend. Die FKH setzt eine Vielzahl technischer Berechnungsmethoden und spezialisierter Software ein, um elektrische Systeme zu analysieren und bei Bedarf zu optimieren.

E- und B-Feld-Berechnungen

Elektrische und magnetische Felder spielen sowohl bei der Auslegung von Isolationssystemen als auch bei Umweltverträglichkeitsfragen eine wichtige Rolle. Die FKH verwendet Simulationswerkzeuge zur Analyse elektromagnetischer Systeme und Prozesse im statischen, niederfrequenten und hochfrequenten Bereich. Des Weiteren werden Berechnungen zu den Auswirkungen elektromagnetischer Beeinflussungen von Hochspannungs- und Starkstromanlagen auf Kommunikationskabel und Rohrleitungen im Betriebs- und im Fehlerfall durchgeführt.

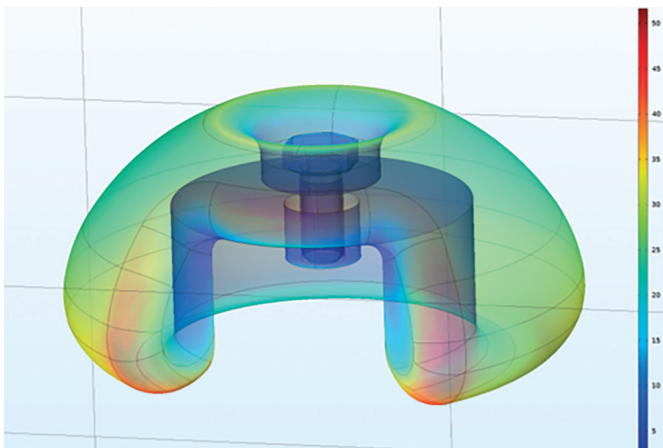


Abbildung 21: Illustration der Ergebnisse einer elektrischen 3D-Feldberechnung an einer Schirmelektrode

Transiente Netzberechnungen

Die FKH nutzt numerische Berechnungen zur Analyse transienter Vorgänge in elektrischen Energiesystemen. Dabei werden vor allem zeitabhängige Vorgänge wie Schaltvorgänge, Blitzüberspannungen oder Fehlerzustände in Hochspannungsnetzen untersucht.

Durch die Berücksichtigung der frequenzabhängigen Modelle können diese Simulationen das reale Verhalten elektrischer Netze genauer abbilden. Auch Überspannungen und transiente Ströme können präziser berechnet werden und die Auslegung von Schutzsystemen und Betriebsmitteln können verbessert werden.

Typischerweise können Fragestellungen zur Isolationskoordination nach SN EN 60071 zu Schaltüberspannungen (z.B. bei Leitungen, Transformatoren oder Kompensationsanlagen) oder auch Blitzüberspannungen und die Ausbreitung von dazugehörigen Wanderwellen beantwortet werden. Fehlertransienten (Kurzschluss- und Erdschlussvorgänge) wie auch Einschaltströme und Sättigungseffekte von Transformatoren können mithilfe der Modelle bestimmt werden.

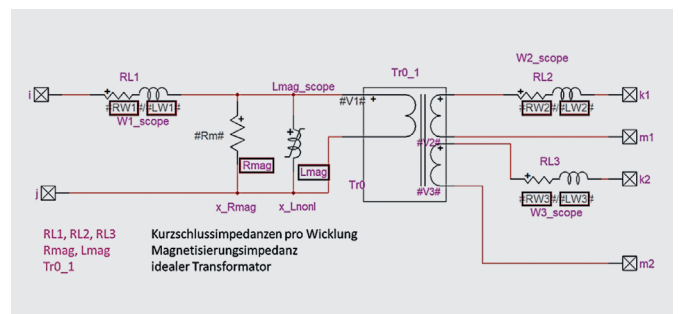


Abbildung 22: Einphasiges Ersatzschaltbild eines Dreiwicklertransformators dargestellt in einem transienten Netzberechnungsprogramm

Berechnung von Erdungsanlagen

Die Auslegung von Erdungsanlagen ist ein wichtiger Bestandteil elektrischer Energiesysteme, da sie Fehlerströme sicher in den Boden ableiten und gefährliche Berührungs- sowie Schrittspannungen begrenzen. Zur Überprüfung der Wirksamkeit der Erdungsanlagen von Unterwerken und anderen elektrischen Anlagen bietet die FKH Erdungsberechnungen und deren Auswertungen an, welche sie durch Messungen wie z.B. des spezifischen Bodenwiderstands oder einer vollständigen Erdungsmessung unterstützen kann. Dadurch können Erdungssysteme realitätsnah analysiert und sicher ausgelegt

werden. Eine Erdungsberechnung umfasst die Modellierung des Erdungssystems (inkl. Berücksichtigung allfälliger gemessener spezifischer Erdbodenwiderstände), die Berechnung des Erdungswiderstands und des zugehörigen Potenzialtrichters.

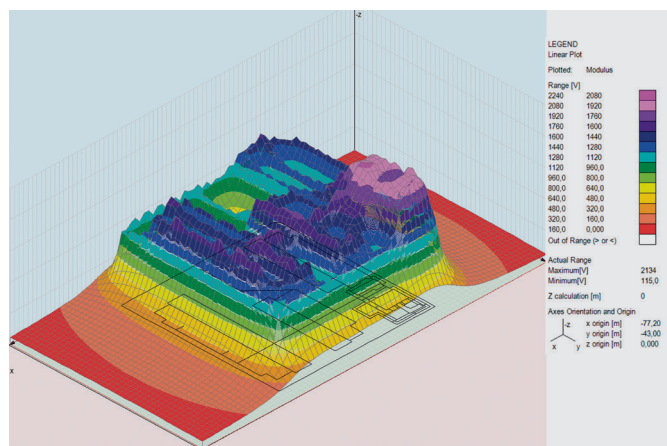


Abbildung 23: Ergebnis einer Erdungsberechnung: Erdbodenpotenzial in Form einer dreidimensionalen, farbkodierten Fläche

Koronaschallberechnungen

Für den Neubau oder die Neubeseilung von Freileitungen werden oft Gutachten benötigt, welche die Lärmemissionen berechnen. Bei der FKH wird für solche Studien das Programm HVLBuzz benutzt. Das Programm wurde vom Hochspannungslabor der ETH Zürich entwickelt und wird seit einigen Jahren von der FKH betreut und weiterentwickelt. HVLBuzz erlaubt eine schnelle und einfache Berechnung der Schallemissionen im Leitungsquerschnitt (2D). In unterschiedlichen Ländern haben sich unterschiedliche Berechnungsformeln durchgesetzt, diese können nach Bedarf angewendet werden. Je nach Anwendungsfall können die Resultate grafisch aufbereitet, oder als numerische Werte an den Kunden weitergegeben werden.

Angebot Studien und Beratungen	Bemerkungen
E- und B-Feldberechnungen	Simulation und Analyse elektrischer und magnetischer Felder für Isolationssysteme und Umweltfragen Beurteilung von Umweltverträglichkeit und elektromagnetischer Beeinflussung von Kabeln und Rohrleitungen
Transiente Netzberechnungen	Netzsimulationen mittels EMTP Untersuchung zeitabhängiger Vorgänge (Schaltvorgänge, Blitzüberspannungen, Fehlerfälle)
Berechnung von Erdungsanlagen	Modellierung von Erdsystemen Berechnung von Erdwiderständen und Potenzialtrichtern Kombination aus Modellierung und Vor-Ort-Messungen
Koronaschallberechnungen	Erstellung von Lärmgutachten für den Neubau oder die Sanierung von Freileitungen. Einsatz der spezialisierten Software HVLBuzz für 2D-Schallemissionen Anwendung international unterschiedlicher Berechnungsformeln je nach Bedarf

Tabelle 6: Angebot an Studien- und Beratungsthemen

Für weitere Informationen wenden Sie sich an

studien@fkh.ch

Infrastruktur Niedergösgen

Grosses Prüflabor

Die Dimensionen der grossen Prüfhalle der FKH in Niedergösgen ermöglichen die Prüfungen mit der Bemessungs-Stehblitzstossspannung von 1050 kV Scheitelwert und der Bemessungs-Kurzzeit-Stehwechselspannung von 460 kV_{eff} / 1 Minute von Komponenten der 245-kV-Baureihe (IEC 60071-1).

Für die Wechselspannungserzeugung bis 600 kV_{eff} wird in Anlehnung an die Vor-Ort-Praxis hauptsächlich mit Seriersonanzanlagen gearbeitet. Die Prüffrequenz kann mithilfe von Zusatzkondensatoren im Frequenzbereich zwischen 45 Hz und 65 Hz gemäss IEC 60060-1 eingestellt werden. Alle Komponenten der Seriersonanzanlage sind HF-störungsfrei. In unserer komplett abgeschirmten Prüfhalle kann somit ein Grundstörpegel von < 1 pC bei Prüfspannung erreicht werden.

Fünfzehn Stufen des modular aufgebauten 1.8-MV-Haefely-Stossgenerators (mit 180 kJ) können im Prüflabor aufgebaut werden, sodass Blitzstossspannungen bis 1350 kV erreicht werden können.



Abbildung 24: Seriersonanzanlage (von links: Turm mit drei 80-H-Drosseln in Serie, kapazitiver Spannungsteiler, Zusatz- und Koppelkondensatoren) für eine interne Prüfung in der grossen Prüfhalle



Abbildung 25: Modular aufgebauter Stossgenerator (im Bild mit 12 Stufen). Im Vordergrund die Ladeeinrichtung, links der 1600-kV-Spannungsteiler

Kleinlabor

Im Kleinlabor können Anlagenteile von kleineren Spannungsreihen bis zu 72.5 kV geprüft werden. Das Labor verfügt über Hochspannungstransformatoren und Seriersonanzanlagen. Durch die bereits vorhandene Infrastruktur kann hier eine kleinere Prüfung mit geringem Aufwand rasch vorbereitet und durchgeführt werden.

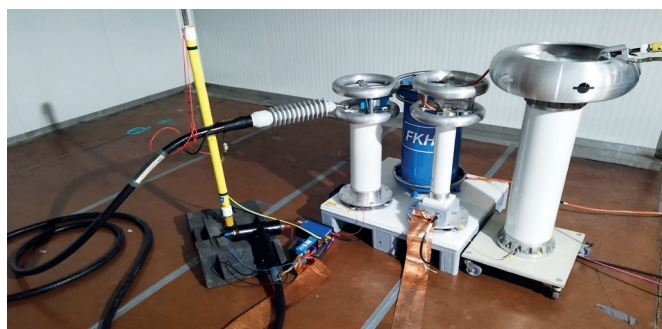


Abbildung 26: Prüfung eines Prüfkabels mit einer Seriersonanzanlage im Kleinlabor (von links: Prüfkabel, Koppelkondensator, Resonanzdrossel, Spannungsteiler und zusätzlicher Lastkondensator)

Freiluftprüfplatz

Die FKH besitzt auch klassische Prüftransformatoren. Der 1-MV-Prüftransformator der Firma Moser Glaser AG wird neben Stehwechselfspannungsprüfungen (trocken und nass) an Freiluftkomponenten, hauptsächlich für Step-Tests an Mittelspannungskabeln auf dem Vorplatz der Prüfhalle oder auch in der Prüfhalle, durch Einführung der Spannung durch das Haupttor, eingesetzt. Im Freien sind Stossprüfungen mit Normstössen bis zu 1600 kV möglich. Der gasisolierte 400-kV-Prüftransformator der Firma Trench GmbH ist auf einem Anhänger installiert und kann nach Bedarf auch in der Prüfhalle eingesetzt werden.



Abbildung 27: 1-MV-Prüftransformator der Firma Moser Glaser AG



Abbildung 28: Der gasisolierte 400-kV-Prüftransformator der Firma Trench GmbH

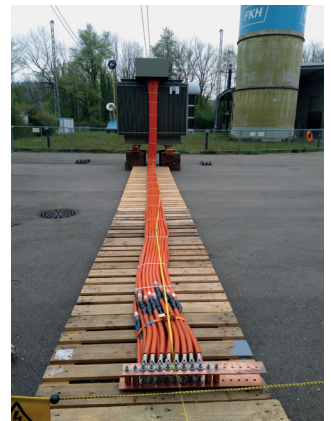


Abbildung 29: Magnetfeldmessung an einem 3.15-MVA-Verteiltransformator

Vor der grossen Prüfhalle gibt es einen gedeckten Vorplatz, der zusätzlich für Prüfungen wie z.B. Regenprüfungen verwendet werden kann. Auf dem Gelände gibt es weitere Plätze, die für Langzeitprüfungen verwendet werden können. Es können z.B. auch Magnetfeldmessungen (B-Feld) an grossen Verteiltransformatoren durchgeführt werden, um eine NISV-Kompatibilität zu bestätigen.



Abbildung 30: Gedeckter Vorplatz der Prüfhalle mit einem Prüfaufbau für Step-Tests, gespeist von dem 1-MV-Prüftransformator (im Hintergrund)

Für weitere Informationen wenden Sie sich an

info@fkh.ch



FKH-Geschäftssitz

Hagenholzstrasse 81
CH-8050 Zürich
Tel. +41 44 253 62 62

info@fkh.ch
www.fkh.ch

FKH-Isolieröllabor

Andresenschachen 10
CH-5013 Niedergösgen
Tel. +41 62 288 77 99

FKH-Versuchsstation

Andresenschachen 10
CH-5013 Niedergösgen
Tel. +41 62 288 77 95