

Jahresbericht





Inhalt

Vorwort des Präsidenten und der Geschäftsleitung	4
Struktur und Leitbild der FKH	6
FKH-Vorstand	7
FKH-Geschäftsstelle	8
Dienstleistungen der FKH	Ę
Auftragsarbeiten und statistische Übersicht	10
Kurzbeiträge zu besonderen Auftragsarbeiten: Kabelfehlerortung	12
Methodik und Erfahrung mit TE-Messungen an Kabelanlagen	16
Diagnosemethoden zur Erkennung von Funktionsfehlern und Alterungsprozessen bei Transformatoren	20
Prüfung einer 380-kV-GIS in Deutschland	22
Erdungsberechnungen zur Auslegung von Erdungssystemen	24
EMV-Messungen an Umrichteranlagen der SBB	26
	28
Magnetfeldmessungen an einem Verteiltransformator	30
FKH-Labor für Isolierölanalysen	32
Neues Filtersystem für Erdungs- und Leitungs- impedanzmessungen	33
Netzberechnungen und EMTP	34
FKH-Werkstatt, Spezialitäten, Eigenentwicklungen	36
FKH-Fachtagung 2021 «Hochspannungsmesswandler»	38
Teilnahme an Fachveranstaltungen, Referate,	
Publikationen	40
Mitgliedschaft / Mitarbeit in Fachgremien und Kommissionen	41
FKH-Mitglieder	42
Zufahrtspläne für die FKH-Standorte	46

Vorwort des Präsidenten und der Geschäftsleitung

Das Jahr 2021 stand für die FKH ganz im Zeichen von personellen Erneuerungen: Auf Ende 2021 trat der langjährige Geschäftsleiter Dr. Reinhold Bräunlich altershalber zurück. Der an der Mitgliederversammlung im Mai 2021 gewählte neue Geschäftsleiter Dr. Michael Walter ist seit dem 1. Oktober 2021 für die FKH tätig und hat die Geschäfte im Januar 2022 übernommen. Anlässlich der traditionellen FKH-Fachtagung, am 8. Dezember 2021 in Bern, fand die formelle Übergabe der Geschäftsleitung statt.



Michael Walter hat die FKH bereits seit 2018 als Vorstandsmitglied betreut. Er bringt wertvolle Erfahrungen als bisheriger Leiter eines Hochspannungsprüflabors der Herstellerindustrie mit, die ihm helfen werden, die FKH organisatorisch und fachlich an die neuen Bedürfnisse der Elektroenergiebranche anzupassen.

Auch im Ingenieurteam hat ein Wechsel stattgefunden: Der stellvertretende Geschäftsleiter Günther Storf, der die Entwicklung der FKH seit 1994 erfolgreich mitgeprägt hat, hat die FKH verlassen. Wir danken ihm hier an dieser Stelle ganz herzlich für seinen loyalen und kompetenten Einsatz.

Die FKH verzeichnete im letzten Jahr erneut eine grosse Nachfrage an Vor-Ort-Prüfdienstleistungen. Das Angebot wurde in allen Bereichen intensiv in Anspruch genommen. Auch eine Reihe von Prüfanfragen aus Nachbarländern konnte erfolgreich abgewickelt werden. Eine Auftragsprüfung führte die FKH im vergangenen Jahr bis nach Island. Bei solchen Dienstleistungsprojekten kamen vermehrt auch ausländische Hersteller von Hochspannungsbetriebsmitteln auf die FKH zu. Durch die damit einhergehende Erweiterung der Prüferfahrung kann die FKH und damit indirekt auch ihre Mitglieder fachlich profitieren. Ein weiterer Trend ist, dass die Nachfrage für Beratung und Studien seit einigen Jahren kontinuierlich wächst. Wir haben deshalb bereits im Jahr 2021 begonnen das Ingenieurteam mit jungen Fachleuten zu ergänzen. Die FKH plant auch für 2022 eine entsprechende Kapazitätserweiterung beim Personal.

Gemeinsam mit der Firma Koeppl Power Experts wurde entschieden, die Studien für transiente Vorgänge in den Netzen durch die FKH für unsere Kunden bereitzustellen. Erste Aufträge dazu erhielten wir bereits im 2021.

Die Erneuerung und Modernisierung des Prüfmittelparks der FKH wurde im vergangenen Jahr intensiv weiterverfolgt. Zur Abdeckung neuer Messverfahren und zur Sicherstellung des neuesten Stands der Prüftechnologien, wurden Messund Diagnosegeräte in grösserem Umfang neu beschafft oder ersetzt.

Im Zentrum steht aktuell die Entwicklung einer neuen Generation ein- und dreiphasiger Wechselspannungsquelle, auf der Basis von Frequenzumrichtern, über die bereits in den beiden vergangenen Jahren berichtet wurde. Einphasige Versionen sind heute schon in Betrieb und das Projekt «dreiphasige Wechselspannungsquellen» tritt in die Phase der Realisierung.

Die Covid-Pandemie, welche für Verzögerungen und Engpässe bei einigen Infrastrukturprojekten unserer Kunden verantwortlich war, hat sich, abgesehen von einigen Schwierigkeiten in der Kapazitätsplanung, für die FKH kaum ausgewirkt. Anerkennung gilt hierbei den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der FKH, welche ihre Leistung trotz den aktuellen Schwierigkeiten mit grossem Engagement und hoher Professionalität erbracht haben.

Der Vorstand und die Geschäftsleitung sprechen den FKH-Mitarbeitenden für ihren Einsatz, aber auch allen Mitgliedern und Kunden für das Interesse am Angebot und für das Vertrauen in die Arbeit der FKH, ein herzliches Dankeschön aus.

Unter der neuen Führung wird sich die FKH in besonderem Masse auf die Abdeckung zukünftiger Bedürfnisse der Elektrizitätsversorgungsbranche sowie die Aktualisierung des bestehenden Dienstleistungsangebots konzentrieren. Dabei wird sie alle Gelegenheiten ergreifen, einen regen Informationsaustausch mit allen Mitgliedern und Kunden zu pflegen.



Christian Lindner
Präsident



Practical Braunlich

Geschäftsleiter bis 2021



Muhacf Waller

Dr. Michael Walter

Geschäftsleiter ab 2022

Struktur und Leitbild der FKH

Struktur der FKH



Abbildung 1: Struktur der FKH

FKH-Leitbild

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

Die FKH übt eine **Brückenfunktion** zwischen den schweizerischen Hochschulen und den Unternehmungen der Elektroenergietechnik aus. Durch aktive Kontakte zur ETH Zürich und ETH Lausanne sowie den Fachhochschulen, und durch die 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.

FKH-Vorstand

Präsident	Christian Lindner Axpo Grid AG
Vizepräsident	Adrian Häsler Swissgrid AG
Mitglieder	Dr. Josep Aniceto Schweizerische Bundesbahnen AG
	Dr. Reinhold Bräunlich Fachkommission für Hochspannungsfragen ¹
	Yves-André Bagnoud Services Industriels Lausanne
	Markus Burger Electrosuisse
	Anja Burkhard Hitachi Energy Switzerland AG
	Andri Casura Elektrizitätswerk der Stadt Zürich
	Andreas Degen Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
	Prof. Dr. Drazen Dujic Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
	Prof. Dr. Christian Franck Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
	Michael Junghans Brugg Kabel AG
	Prof. Dominique Rolle Ecole d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg
	Daniel Riesen BKW Energie AG
	Dr. Michael Walter (bis September 2021) GE Grid (Switzerland) GmbH
	Martin Weibel Bouygues E&S EnerTrans AG
Kontrollstelle	Bruno Duebendorfer Axpo Grid AG
	Aaron Durrer Elektrizitätswerk der Stadt Zürich

¹ Mitglied mit beratender Stimme

FKH-Geschäftsstelle

Leiter	Dr. Reinhold Bräunlich, Dr. sc. ETH (bis 31. Dezember 2021)Dr. Michael Walter, Dr. sc. ETH (ab 1. Januar 2022)	braeunlich@fkh.ch walter@fkh.ch	
Stellvertreter	Günther Storf, dipl. ElIng. ETH (bis 31. Dezember 2021)	storf@fkh.ch	
	Dr. Thomas Brügger, Dr. sc. ETH (ab 1. Januar 2022)	bruegger@fkh.ch	
	Dr. Thomas Heizmann, Dr. sc. ETH (ab 1. Januar 2022)	heizmann@fkh.ch	
Sekretariat	Saskia Muraro	muraro@fkh.ch	
Mitarbeiter	Philippe Alff, MSc ETH ETIT (ab 1. August 2021)	alff@fkh.ch	
	Dr. Thomas Brügger, Dr. sc. ETH	bruegger@fkh.ch	
	Dr. Vahe Der Houhanessian, dipl. ElIng. ETH	houhanessian@fkh.ch	
	Pascal Fehlmann, ElIng. FH	fehlmann@fkh.ch	
	Tobias Felber, Netzelektriker	felber@fkh.ch	
	Peter Frey, Chemielaborant	frey@fkh.ch	
	Diego Friedli, MSc Eng. HES-SO	friedli@fkh.ch	
	Mario Gobeli, ElIng. FH	gobeli@fkh.ch	
	Dr. Thomas Heizmann, Dr. sc. ETH		
	Leiter Labor für Isolierölanalysen	heizmann@fkh.ch	
	Dominic Kleger, Bsc ElIng. FH	kleger@fkh.ch	
	Adamo Mele, Elektromechaniker	mele@fkh.ch	
	Simon Mutter, Energieelektroniker	mutter@fkh.ch	
	Dr. Stefan Neuhold, Dr. sc. ETH	neuhold@fkh.ch	
	Franziska Schenker, Chemielaborantin	schenker@fkh.ch	
	Martina Stadelmann, MSc ETH ETIT	stadelmann@fkh.ch	
	Markus von Arx, Elektromonteur	vonarx@fkh.ch	
	Toni von Deschwanden, Elektromechaniker	deschwanden@fkh.ch	
	Dr. Michael Walter, Dr. sc. ETH (ab 1. Oktober 2021)	walter@fkh.ch	
Betriebsstätten	FKH-Geschäftsstelle	Tel. 044 253 62 62	
	Hagenholzstrasse 81	Fax 044 253 62 60	
	8050 Zürich		
	FKH-Versuchsstation Däniken	Tel. 062 288 77 95	
	Andresenschachen 10, 5013 Niedergösgen	Fax 062 288 77 94	
	FKH-Labor für Isolierölanalysen Däniken	Tel. 062 288 77 99	
	Andresenschachen 10, 5013 Niedergösgen	Fax 062 288 77 90	
Kontakt	Pascal Fehlman	Tel. 026 665 07 20	
für die Westschweiz	Le Verney 10	Natel 079 275 91 50	
	1483 Montet (Broye)	fehlmann@fkh.ch	
Internet	www.fkh.ch		

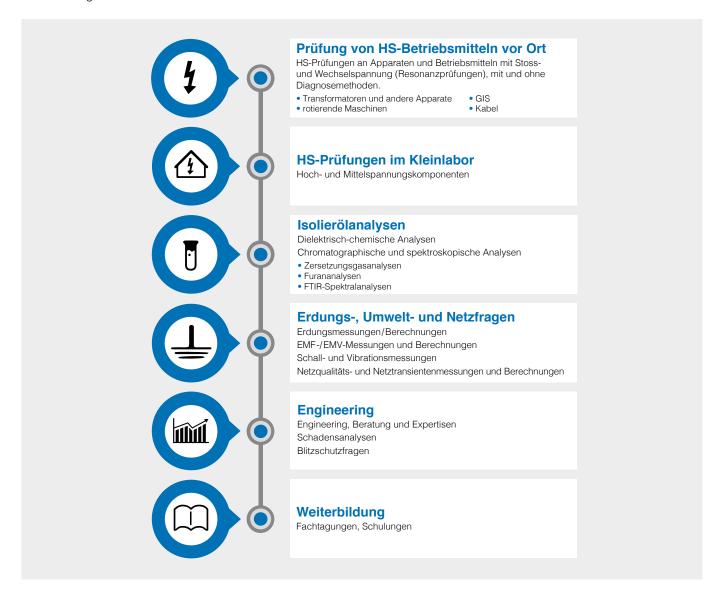
Dienstleistungen der FKH

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

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

Die wichtigsten Dienstleistungen der FKH sind in den Informationsbroschüren beschrieben, die auf der Internetseite der FKH (www.fkh.ch) abgerufen werden können. Sie sind an unseren Anlässen und auch auf Anfrage in Papierform erhältlich.

Folgende Dienstleistungen bietet die FKH an:



Auftragsarbeiten und statistische Übersicht

Neben diversen Entwicklungsprojekten und der Behandlung aktueller Fragestellungen der FKH-Mitglieder wurden im Berichtsjahr 2021 insgesamt 192 (182) elektrotechnische Auftragsarbeiten und 173 (171) Aufträge für Isolierölanalysen mit total 1981 (1836) Proben für FKH-Mitglieder und Dritte ausgeführt. Es wurde ein Umsatz gemäss Tabelle 1 bzw. Abbildung 1 erzielt. Vorjahreswerte sind in Klammern zum Vergleich angegeben.

Total gemäss FKH-Erfolgsrechnung 2021	CHF	4'026'095	(4'614'079)
Forschungs- und Entwicklungsarbeiten	CHF	-	(950)
Erlös aus Auftragsarbeiten für Nichtmitglieder	CHF	1'433'807	(737'303)
Erlös aus Auftragsarbeiten für FKH-Mitglieder*	CHF	2'592'229	(3'875'826)

Tabelle 1: Erlös aus Auftragsarbeiten (Vorjahr in Klammern)

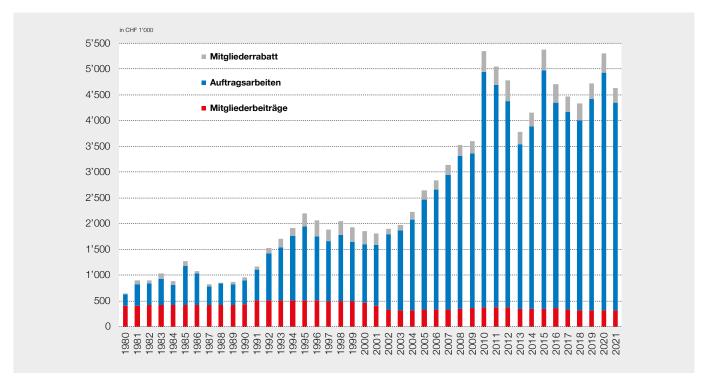


Abbildung 1: Erlös aus Auftragsarbeiten und Mitgliederbeiträgen im Zeitraum von 1980-2021

^{*} Nettoerlös, 10% Mitgliederrabatt abgezogen

Die Auftragstätigkeit der FKH-Arbeitsgruppe für Mitglieder und Dritte im Berichtsjahr 2021 kann folgenden Gebieten zugeordnet werden. Tabelle 2 und Abbildung 2: Prozentuale Verteilung bezogen auf den erzielten Nettoerlös. Angaben aus dem Vorjahr in Klammern:

Prüfung von Hochspannungskabelanlagen	34%	(37%)
Prüfung von Transformatoren	14%	(13%)
Prüfung von Hochspannungsapparaten und Generatoren	1%	(2%)
Prüfung von GIS und Schaltanlagen	15%	(13%)
Erdungsmessungen / Nachweis von Blitzschutzmassnahmen	7%	(7%)
Typenprüfungen / Spezialversuche	3%	(1%)
Umweltfragen / EMF / Korona / EMV / Transiente Vorgänge	1%	(2%)
Beratungs- und Betreuungsaufgaben	4%	(5%)
Isolierölanalysen	21%	(20%)
Forschungs- und Entwicklungsarbeiten	0%	(0%)

Tabelle 2: Prozentuale Verteilung der Auftragsarbeiten im Jahr 2021 nach Dienstleistungssparten aufgeschlüsselt (Vorjahr in Klammern)

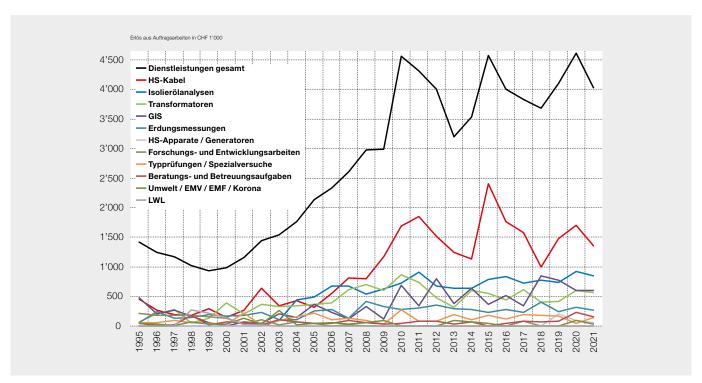


Abbildung 2: Entwicklung des Erlöses aus Auftragsarbeiten nach einzelnen Dienstleistungssparten (in CHF 1'000) über den Zeitraum von 1995–2021

Kurzbeiträge zu besonderen Auftragsarbeiten: Kabelfehlerortung

Teilentladungen an Kabelstrecken treten fast ausschliesslich an den Endverschlüssen und Muffen auf. Eine Herausforderung ist oft, die TE-behaftete Stelle zu identifizieren.

Zur Ortung der betroffenen Kabelgarnitur bieten sich folgende Methoden an:

- (1) Vergleich der Impulsintensitäten an verschiedenen TE-Messstellen. Der Ort höchster Intensität wird als Fehlerort vermutet.
- (2) Zweikanalige Impulsoszillographie an beiden Kabelenden gleichzeitig (bei kurzen Kabeln, Abbildung 1). Aus der Verzögerung zwischen den Impulsen wird der Fehlerort ermittelt.
- (3) Klassische Laufzeitmessung: Aufzeichnung eines Impulsreflektogramms mit einem TE-Messsystem oder einem Oszillographen und Auswertung der Impulsankunftszeiten. Dafür reicht eine einkanalige Messung an einer Seite (Abbildung 2).

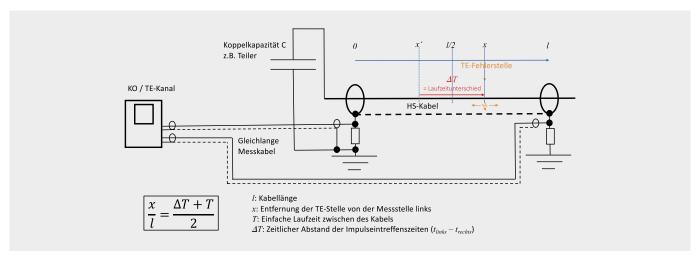
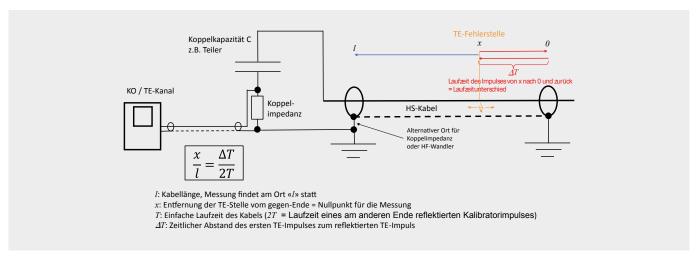


Abbildung 1: Zweikanalige Laufzeitmessung an beiden Seiten nach Methode (2)



Die Methoden weisen alle Vor- und Nachteile auf und werden situativ ausgewählt. Die erste und dritte Methode kann in gewissen Fällen zu Fehlinterpretationen führen. Die zweite Methode verlangt eine exakte Zeitsynchronisierung, die in einfacher Weise nur bei kurzen Kabeln möglich ist (mit gleichlangen Messkabeln und zweikanaliger Registrierung).

Der Intensitätsvergleich an beiden Enden gemäss Methode (1) führt bei kürzeren Kabeln oft zu Falschbeurteilungen: Die Impulsdämpfung entlang kurzer Kabel ist gering, und die Impulshöhen werden an den Enden wegen unterschiedlicher Reflexionsfaktoren in unbekannter Weise verändert (vgl. Abbildung 3).

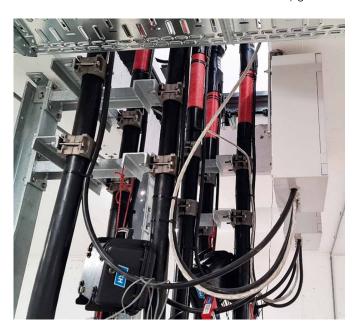




Abbildung 3: Typische Beispiele für unterschiedliche Ankopplungen an den beiden Kabelenden über Hochfrequenzstromwandler, die zu unterschiedlichen Reflexionen und mit Methode (1) zu Fehlinterpretationen führen können

Die Methode (3) setzt voraus, dass Impulse, die an einem Ort im Kabel entstehen – nach der Reflexion an der Gegenseite – auf der Aufzeichnungsseite noch eindeutig registriert werden können. Der Pegel der Teilentladung muss dafür ausreichend hoch, bzw. die Dämpfung über die doppelte Kabellänge muss ausreichend klein sein. Ein Schwachpunkt dieses Verfahrens ist, dass die Reflektogramme für Teilentladungsimpulse an den Endverschlüssen der Messseite und an der Gegenseite nicht unterscheidbar sind. Alle Folgeimpulse treffen in beiden Fällen nach der doppelten Laufzeit ein.

Die drei vorgestellten Methoden mussten im Berichtsjahr bei mehreren Messkampagnen zur TE-Fehlerortung angewendet werden. In einigen Fällen wurde nach dem Vergleich von Teilentladungspegeln gemäss (1) auf einen falschen Fehlerort geschlossen. Erst mit den Methoden (2) oder (3) konnten verlässliche Aussagen getroffen werden.

Die Abbildung 4 zeigt ein Beispiel für die Skalierung der Kabellaufzeitskalierung im Rahmen der Anwendung der zweiseitigen Messung nach Methode (2) bei einer kurzen Kabelstrecke von ca. 120 m Länge. Ein Kalibratorimpuls, der an einem Endverschluss eingespeist wurde, wies am anderen Kabelende eine Verzögerung von 536 ns auf. Die Messkabellängen wurden auf beiden Seiten gleich lang gewählt, sodass die Verzögerungszeit der Hochspannungskabellänge entsprach. Ein vorhandener TE-Fehler konnte anschliessend leicht der richtigen Seite zugeordnet werden.

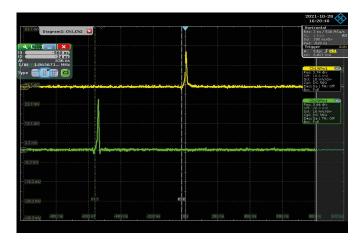


Abbildung 4: Skalierung der Kabellaufzeit im Rahmen der Anwendung der zweiseitigen Messung nach Methode (2)

Abbildung 5 zeigt ein Ergebnis der zweikanaligen TE-Signalmessung nach Methode (2) bei einem ca. 320 m langen Kabel. Der Laufzeitunterschied des TE-Signals liegt hier bei 1,4 µs. Aufgrund der Gesamtlaufzeit des Kabels von 1,6 µs liegt der Fehler in einer Muffe, rund 20 m vom Ende des Messkanals 2 (aus Beziehung Abbildung 1).

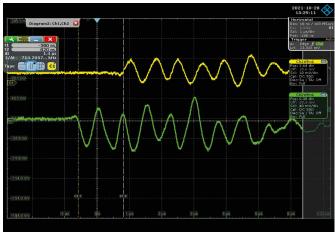


Abbildung 5: Resultat einer zweiseitigen Laufzeitmessung (Zeitdifferenz: 1,4 μs)

Bei langen Kabelstrecken ist eine zweiseitige Laufzeitmessung mit Messkabeln auf beiden Seiten nicht möglich. Bei ausreichendem Pegel kann dann wie oben beschrieben die klassische einseitige Reflexionsortung, Methode (3) zur Anwendung kommen. Dabei wird zunächst die doppelte Laufzeit mit einem Kalibratorimpuls gemessen (Abbildung 6). Bei der Erfassung von Teilentladungsimpulsen kann dann der Ort aus den Impulsreflexionen gemäss Abbildung 2 ermittelt werden.

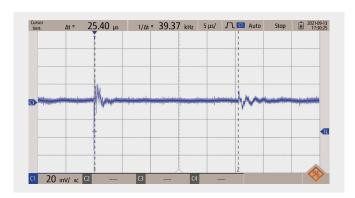


Abbildung 6: Kalibration durch Messung der doppelten Laufzeit nach Methode 1 (25,4 µs bei einem ca. 2355 m langen Kabel)

Die Impulsortung ist erschwert, wenn Störimpulse oder weitere Teilentladungssignale eine höhere Impulsamplitude besitzen als das TE-Signal, welches geortet werden soll. Die Triggerung auf das interessierende, kleinere Impulssignal ist dann kaum möglich. Beim Messsystem MDP600 und MPD800 der Firma Omicron kann die Phasenlage und Amplitude der Teilentladung durch Markierung in der phasenaufgelösten TE-Impulsdarstellung (Abbildung 7) vordefiniert werden. Sodass auch in diesen Fällen eine TE-Ortung gelingen kann.

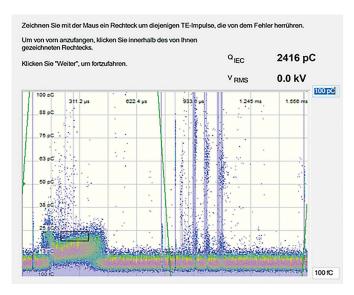


Abbildung 7: Auswahl der Teilentladungswolke im Omicron-TE-Messsystem



Methodik und Erfahrung mit TE-Messungen an Kabelanlagen

Die Montage von Endverschlüssen und Muffen von Hoch- und Mittelspannungskabeln sind anspruchsvoll. Kleine Unregelmässigkeiten in den Fugen der Isolation können zu Feldstärkeerhöhungen und Teilentladungen (TE) führen, weshalb diese Komponenten nach der Installation häufig einer TE-Prüfung unterzogen werden.

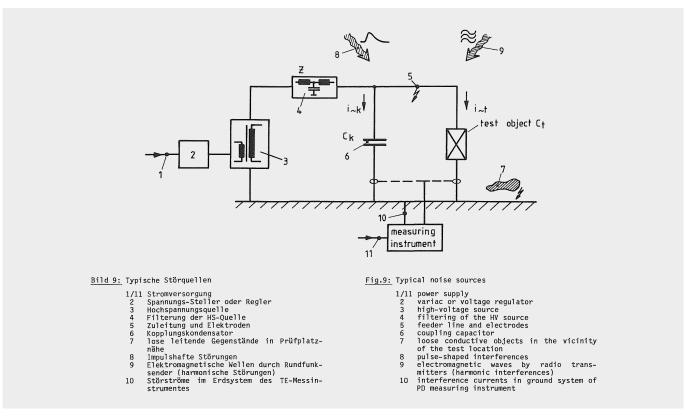
Teilentladungsmessungen werden wegen der äusserst kleinen TE-Ladungsimpulse im Pico-Coulomb-Bereich (10⁻¹² C) wenn immer möglich in geschirmten Hochspannungslabors durchgeführt.

Bei Messungen in Unterwerken koppeln sich diverse Störungen aus der Umgebung und aus dem Betrieb von diversen Anlagenteilen in die Teilentladungsprüfkreise ein und stören das Messergebnis. In der Regel äussern sich die Störungen durch Falschimpulse, die mitgemessen werden und einen hohen Grundstörpegel verursachen (vgl. Störungssymbole 5, 7, 8, 9 in Abbildung 1).

Mit einer frequenzvariablen Resonanzanlage, wie sie von der FKH eingesetzt wird, können externe Störquellen statistisch identifiziert und eliminiert werden, da diese nicht mit der Prüfspannung synchron sind und somit eindeutig externen Störern zugeordnet werden können.

Ausserdem kann der Frequenzbereich für die Teilentladungsmessungen an Kabelgarnituren nach oben erweitert werden. Dies ist aus messtechnischer Sicht wegen der geringen Frequenzabhängigkeit der Signalübertragung in Kabeln möglich.

Zur weiteren Störunterdrückung werden auch Sperrdrosseln an diversen Stellen im Prüfaufbau eingesetzt, sodass die Hochspannungsprüfquelle und weitläufige Erdungsverbindungen vom Teilentladungskreis für hochfrequente Signale abgekoppelt werden (vgl. Abbildungen 2 und 3).



In der IEC 60270 wird der Standard-TE-Kreis gemäss Abbildung 1 beschrieben: Parallel zur Prüflingskapazität wird eine Koppelkapazität (6) und eine Ankoppelimpedanz (measuring instrument) geschaltet. Nach Kalibration eines solchen Messsystems kann die scheinbare Ladung der Teilentladungsimpulse gemessen werden (Ladung, die bei einem TE-Impuls zwischen den Klemmen eines Prüflings fliesst).

Bei Kabelanlagen wird aufgrund der Länge möglichst an beiden Enden eine TE-Messung durchgeführt; allenfalls wird auch an den Muffen eine Messung durchgeführt. Eine direkte Umsetzung des Teilentladungsmesskreises nach IEC 60270 bedingt die beidseitige Beschaltung der Kabelstrecke mit einem Hochspannungskoppelkondensator gemäss Abbildung 2. Die Schirme an den Muffen werden ebenfalls über eine Koppelimpedanz geführt, um TE von beiden Seiten unterscheidbar zu machen und um die Möglichkeiten für die TE-Ortung zu verbessern. Dabei übernehmen die beiden Kabelabschnitte links und rechts die Rolle der Koppelimpedanz.

Hilfreich für die Störunterdrückung ist, dass die Signale über den Koppelimpedanzen bei modernen Messsystemen über isolierende Lichtleiter zum Messsystem übertragen werden.

Koppel-kondensator EV Muffe Kabel Koppel-EV kondensator

4-Pol Entstördrossel MPD MPD MPD MPD

Abbildung 2: Auskopplung mit Ankoppelvierpolen an allen Garnituren, Koppelkondensatoren an beiden Enden

Da bei der TE-Messung an Kabeln der Frequenzbereich bis in den MHz-Bereich erweitert werden kann, sind vereinfachte Messankopplungen möglich. In diesem Frequenzbereich sind die Ströme durch die Streukapazität von Endverschlüssen genügend hoch, sodass ein Koppelkondensator entfallen kann. Die Kalibrierbarkeit der TE-Impulse ist dann allerdings nicht mehr gegeben. Untersuchungen der FKH haben aber gezeigt, dass der Fehler, welcher bei einer Standardkalibrierprozedur resultiert, in der Regel einen Faktor 2 nicht überschreitet [1], [2].

Einen typischen Messaufbau zeigt Abbildung 3. Statt Koppelimpedanzen werden Hochfrequenzstromwandler eingesetzt, welche eine vergleichbare Übertragungscharakteristik besitzen.

Abbildung 4 zeigt, wie ein TE-Messkreis an einem Mittelspannungskabel auch bei engen Platzverhältnissen unter Verwendung der Ankoppelmethoden in Abbildung 2 praktisch aufgebaut werden kann. Abbildung 5 zeigt die Auskopplung an einem Hochspannungskabel mit einem Hochfrequenzstromwandler wie in Abbildung 3 praktisch aufgebaut.

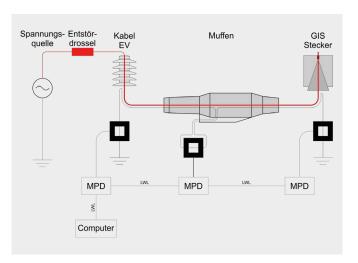


Abbildung 3: Einspeisung mit Filterdrossel und Auskopplung mit HF-Stromwandlern an allen Garnituren



Abbildung 4: TE-Auskopplung mit HF-Klappwandler bei einem Hochspannungskabel

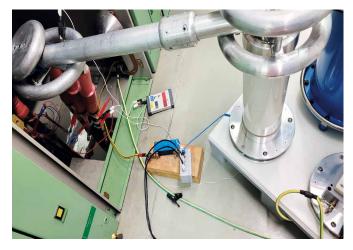


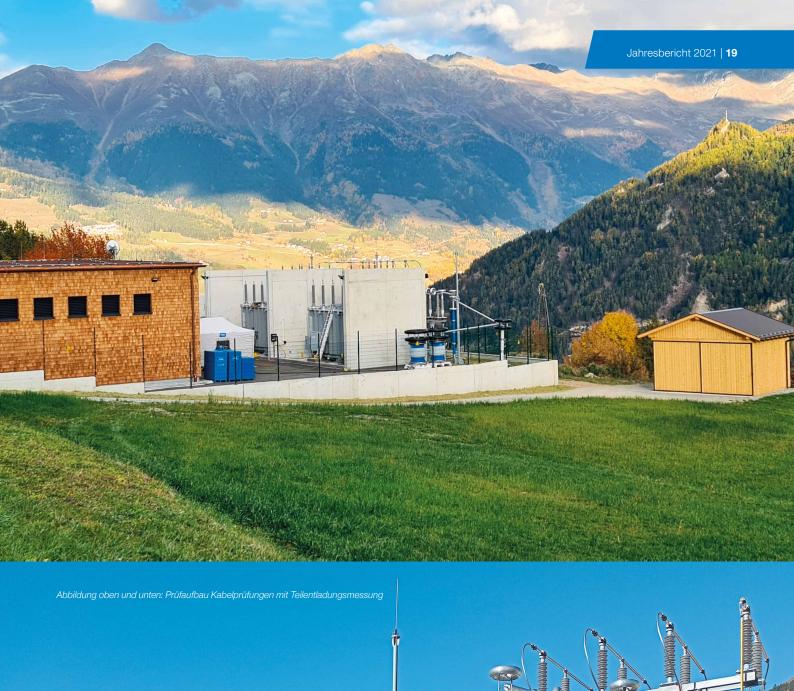
Abbildung 5: Auskopplung mit Ankoppelvierpol und Koppelkondensator in einer Mittelspannungsschaltanlage

- R. Bräunlich, Th. Brügger; Vor-Ort-TE-Detektion an Kabelendverschlüssen mittels Ankoppelvierpol ohne Koppelkondensator; Diagnostik Elektrischer Betriebsmittel 25. – 26.11.2014
- [2] S. Lipták, Z.Á. Tamus, R. Bräunlich, Th. Brügger; PD measurement of open air HV cable termination at the ground plate without coupling capacitor; 2014 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena IEEE



AUTOR

Dominic KlegerBsc El.-Ing. FH
Projektingenieur





Diagnosemethoden zur Erkennung von Funktionsfehlern und Alterungsprozessen bei Transformatoren

Transformatoren gehören zu den teuersten und komplexesten Apparaten in den Energieversorgungsnetzen. Sie bestehen aus mehreren statischen und dynamischen Komponenten, welche im Zusammenspiel die Funktion des Energietransfers zwischen den Netzspannungsebenen und den Kraftwerken bewerkstelligen. Dabei laufen Vorgänge aus vielen Gebieten der Physik ab. Die Materialien und Konstruktionsteile müssen gut aufeinander abgestimmt werden, damit der Transformator als Gesamtsystem den Belastungen über Jahrzehnte standhalten kann.

Die wichtigsten Beanspruchungen sind:

- Mechanische Kräfte: Stufenschalter, Wicklungspressung, Kurzschlussfestigkeit (Papierfestigkeit)
- Thermische Belastung: Kühler, Öl-Kanäle
- Elektrisches Feld: Isolation, Feldsteuer- und Abschirmringe, Isolieröl
- · Magnetisches Feld: Kernaufbau, Wicklungsgeometrie
- Chemische Beanspruchungen: Alterung der Öl-Papier-Isolation, Inhibitoren, Fullern

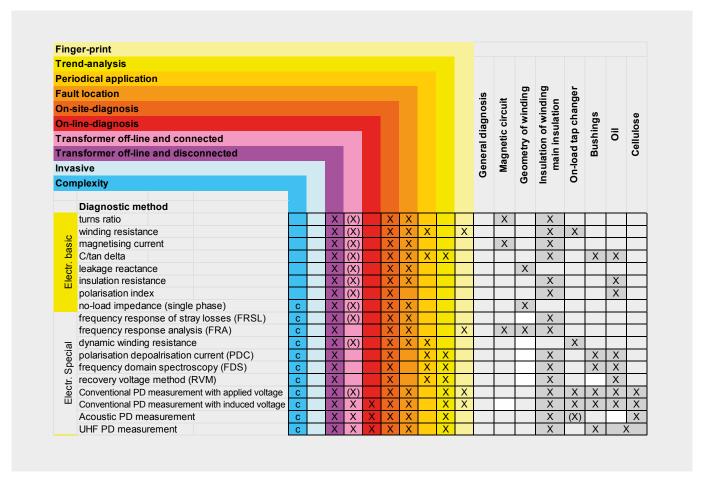


Tabelle 1: Übersichtsmatrix mit Untersuchungszweck, Diagnosemethode und betroffenem Teilsystem

Das Zusammenspiel der verschiedenen Aspekte führt zu einer Grosszahl möglicher Fehlerursachen. Dies erschwert die Beurteilung des Alterungszustands bzw. der Lokalisierung von allfälligen Fehlern. Entsprechend gross und vielfältig ist die Palette für Diagnose und Messtechniken zur Überprüfung der Transformatoren. Oft muss eine gezielte Kombination von Methoden eingesetzt werden, um eine zuverlässige Aussage machen zu können. Tabelle 1 gibt hierzu einen Überblick und stellt die Verbindung zwischen dem Untersuchungszweck, der Methode und dem untersuchten Transformator-Teilsystem her.

Oft entscheidet auch das Ergebnis einer ersten Diagnose, welche weiteren messtechnischen Schritte zur endgültigen Beurteilung gewählt werden müssen. Beispielsweise geben Isolierölanalysen oft Fehlerhinweise, die anschliessend mit elektrotechnischen Messungen verifiziert werden können. Weiter bildet der Fingerprint des intakten Transformators vor der Inbetriebsetzung die Grundlage einer aussagekräftigen späteren Zustandsanalyse. Wesentlich präzisere Aussagen können gemacht werden, wenn bei einer Messung im Fehlerfall das Messresultat mit einer Messung des gesunden Transformators vor dem Fehler verglichen werden kann, um die Veränderung zu quantifizieren.

Abbildung 1 zeigt den Oberteil eines Kuppeltransformators während einer induzierten Spannungsprüfung mit Teilentladungsmessung der FKH. Mit drei akustischen Sensoren wird eine Teilentladungsortung durchgeführt.

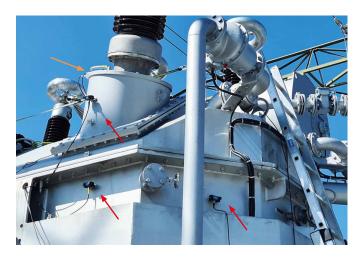


Abbildung 1: Elektrische TE-Messung an einer Transformator-Durchführung (orangener Pfeil) und Ortung eines Fehlers mit akustischen TE-Sensoren (rote Pfeile)



AUTOR

Pascal Fehlmann
Dipl. El.-Ing. FH
Projektingenieur

Prüfung einer 380-kV-GIS in Deutschland

Die FKH hat im Jahr 2021 eine 380-kV-GIS in Deutschland geprüft. Die GIS wurde im Zuge der Spannungserhöhung von 220 auf 380 kV eines grösseren Unterwerks zur Verstärkung des Übertragungsnetzes installiert.



Abbildung 1: Geprüfte 380-kV-GIS

Für die Kurzeit-Wechselspannungsprüfung (515 kV / 1 Minute gemäss IEC) und die darauffolgende Teilentladungsprüfung wurde eine leistungsstarke Resonanzprüfanlage benötigt, da sich durch die 80 m langen GIS-Ausleitungen zum Portal der angeschlossenen 380-kV-Freileitungen eine hohe Lastkapazität ergab. Die Prüfquelle wurde mit den modular kombinierbaren Resonanzdrosseln der FKH optimal an diese Anforderungen angepasst.

Eine besondere Herausforderung stellte der Anschluss der Prüfanlage an die Freiluftdurchführungen der GIS in über 15 m Höhe dar. Um die nötigen Schlagweiten sicherzustellen, wurde eine Kondensatorsäule (Höhe 4 m) auf den GIS-Ausleitungsrohren platziert (Abbildung 2). Anschliessend wurden die Resonanzdrosseln mit Alu-Rohren mit der Kondensatorsäule verbunden, von wo aus mit weiteren Alu-Rohren die Verbindung zu den Freiluftdurchführungen hergestellt werden konnte. Mit geeigneten Schirmelektroden, z.B. den in

Abbildung 2 zu sehenden schwarzen Doppeltoroiden, wurde die Teilentladungsfreiheit des Prüfaufbaus erreicht.



Abbildung 2: Prüfaufbau mit Resonanzdrossel

Für die TE-Prüfung wurde die von der FKH mitentwickelte schmalbandige UHF-Methode im Frequenzbereich von 0,1–2 GHz eingesetzt (Prinzipschema in Abbildung 3).

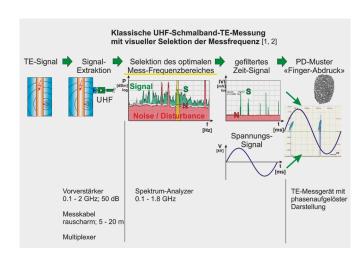


Abbildung 3: Messkette mit schmalbandiger UHF-TE-Messmethode

Die elektromagnetischen Emissionen einer TE-Quelle werden dabei mit den eingebauten UHF-Sensoren aufgenommen. Ein direkt beim Sensor installierter Vorverstärker (Abbildung 4) bereitet die Signale für eine nachfolgende Analyse mit einem Spektrumanalysator auf.



Abbildung 4: Eingebauter UHF-TE-Sensor mit Anschluss über Vorververstärker

Mit den Hochfrequenz-Multiplexern der FKH ist es zudem möglich, alle Sensoren eines Prüfabschnittes für die Messung zu verwenden. Die FKH verwendet zur Identifikation des Fehlertyps die phasenaufgelöste Darstellung des vom Spektrumanalysator schmalbandig gefilterten TE-Signals. Die Lokalisation der TE-Quelle kann anschliessend mit Laufzeitmessungen mit schnellen Oszilloskopen erfolgen.



Abbildung 5: UHF-TE-Messplatz (linke Box: HF-Multiplexer, Spektrumanalysator und Messcomputer, rechte Box: Oszilloskop für Laufzeitmessungen)



AUTOR

Thomas Brügger

Dr. sc. ETH

Projektingenieur

Erdungsberechnungen zur Auslegung von Erdungssystemen

Für die Auslegung von Erdungssystemen neuer Starkstromanlagen, oder bei deren Umbau, bietet die FKH Computer-Berechnungen an. Die Nachfrage nach Erdungsberechnungen hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen.

Mittels der Computersimulation von Erdfehlern in einer Hochspannungsanlage mit Erdungssystem kann für den maximalen Fehlerstrom vorausbestimmt werden, ob die Berührungsund Schrittspannungen innerhalb der maximal zulässigen Werte liegen. Falls unzulässige Werte resultieren, können das Modell für das Erdungssystem schrittweise angepasst und die Auswirkungen festgestellt werden. Berücksichtigt werden können sowohl alle Arten von Erdelektroden und Betonfundamente, wie auch eine Änderung des Oberflächenmaterials, um ein Erdungssystem vorschriftskonform auszulegen. Oberflächen, die einen hohen spezifischen Widerstand besitzen oder gar isolieren, können im Modell gezielt eingesetzt werden, um Berührungsspannungen zu reduzieren oder zu eliminieren.

Die FKH benutzt das Computerprogramm GSA [1] einer italienischen Spin-off-Firma der Universität Padua. Ausserdem verwendet die FKH ein älteres Berechnungsprogramm «GROUND MESH» als Referenz, welches im Rahmen einer wissenschaftlichen Arbeit über Feldberechnungsmethoden an der ETH in den 1980-Jahren entwickelt wurde [2], [3]. Es basiert auf der Oberflächenladungsmethode. Der Algorithmus liefert aufgrund der raffiniert gewählten Funktionen für die Oberflächenstromdichten an den Elektroden eine unübertroffene Präzision.

Für Erdungsberechnungen muss der lokale spezifische Widerstand des Erdbodens bekannt sein. Mit einer vier-Elektroden-Methode mit variablen Abständen zwischen den Spiesselektroden, kann der Verlauf des spezifischen Widerstands in Funktion der Bodentiefe bis etwa 50 m unter der Erdoberfläche bestimmt werden (Wenner-Methode). Abbildung 1 zeigt die Elektrodenanordnung für eine solche Messung.

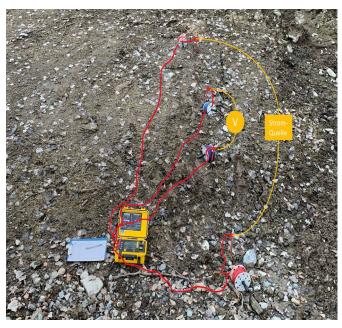


Abbildung 1: Messgerät mit vier in Linie angeordneten Erdspiessen für die Ermittlung des spezifischen Erdbodenwiderstands nach der Wenner-Methode (Messgerät: Chauvin Arnoux Ca 6470)

Die gemessenen Werte in Funktion der Tiefe werden in das Berechnungsprogramm eingegeben. Zur Erleichterung der Erdungsberechnung nähert das Programm den gemessenen Verlauf durch Schichten gleichen spezifischen Widerstands an (Abbildung 2).

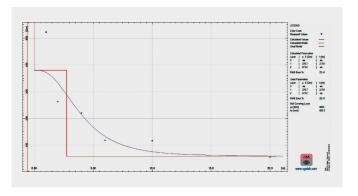


Abbildung 2: Einpassung eines gestuften zwei-Ebenen-Modells (rote Linie) in den gemessenen Verlauf des spezifischen Bodenwiderstands (blaue Linie)

Als Beispiel einer Erdungsberechnung wird die resistive Feldverteilung eines Übergangsbauwerks mit einem benachbarten Mast berechnet. Das Modell des Erdungssystems, welches mit GSA simuliert wurde, ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Erdelektroden (Bänder und Stäbe) sind im Grundriss sichtbar. Für komplexere Erdungssysteme können für die Geometrie der Elektroden CAD-Daten aus Planzeichnungsprogrammen importiert werden.

Abbildung 3: Modell des Erdungssystems eines Übergangsbauwerks. Das hier gewählte Berechnungsprofil für die Berührungs- und Schrittspannungen ist als rote Linie eingezeichnet

Abbildung 4 zeigt die simulierten Berührungs- und Schrittspannungen auf der Profillinie gemäss Abbildung 3. Aufgrund der Grenzwertlinien kann sofort erkannt werden, ob und wo auf den Profilen die festgesetzten Grenzwerte überschritten werden.

Abbildung 5 zeigt gelb eingefärbt den Bereich der Anlage, wo die Berührungsspannungen unzulässig hoch prognostiziert werden, wenn eine auf dem Boden stehende Person ein geerdetes metallisches Objekt berührt.

In der grünen Fläche liegen sowohl die Berührungs- wie auch die Schrittspannungen im zulässigen Bereich. In roten Bereichen, die hier nicht auftreten, wären sowohl Berührungs- wie auch Schrittspannungen unzulässig hoch.

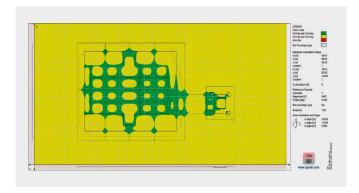


Abbildung 5: Darstellung mit farblicher Auswertung der berechneten Berührungsund Schrittspannungen:

Grün: Berührungs- und Schrittspannung zulässig hoch Gelb: Berührungsspannung unzulässig hoch

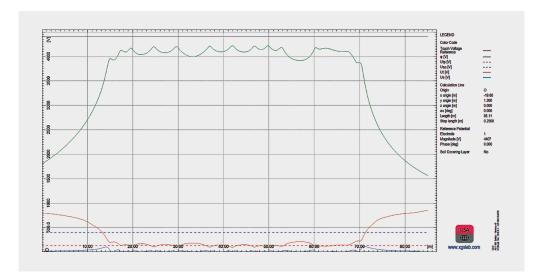


Abbildung 4: Simulierte Berührungs- und Schrittspannungen auf der Profillinie gemäss Abbildung 3. Der grüne Verlauf ist das Oberflächenpotenzial, orange die Berührungsspannung, blau die Schrittspannung (Grenzwerte gestrichelt)

- [1] GSA: Grounding System Analysis, SINT Ingegneria, 36061Bassano del Grappa, Italy
- [2] S. Sato, W.S. Zaengl «Effective Grounding Mesh Calculation Technique» IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 3. No. 1, pp 173–182. Jan, 1987
- [3] S. Sato, W.S. Zaengl «Direct solution technique for twodimensional and axisymmetrical Poisson problems (integral method)», ETZ Archiv, 11(2) 41–48, Feb, 1989



AUTOR

Diego FriedliMSc Eng. HES-SO
Projektingenieur

EMV-Messungen an Umrichteranlagen der SBB

Die FKH hat im Jahr 2021 zwei EMV- bzw. Störaussendungs-Messungen an statischen Umrichteranlagen der SBB durchgeführt.

In der Vergangenheit wurden Hochfrequenzstörungen von elektrischen Hochspannungsanlagen vor allem im Zusammenhang mit Korona-Emissionen von Hochspannungsfreileitungen untersucht. Die Methoden und Grenzwerte sind von den einschlägigen Normen, z.B. der CISPR 18-Reihe, abgedeckt. Bei statischen Umrichteranlagen interessieren dagegen in erster Linie die abgestrahlten EM-Felder der Leistungselektronik, welche in den Unterwerken installiert ist. Die Cigré JWG C4.202 hat mit der Broschüre TB391 «Guide for measurement of radio frequency interference from HV and MV substation» einen Leitfaden zur EMV-Messung und -Beurteilung von Unterwerken mit leistungselektronischen Komponenten (z.B. HGÜ, FACTS) erarbeitet. Für die Bahninfrastruktur gilt die Norm EN 50121-2, welche die Grenzwerte für die Störaussendung des gesamten Bahnsystems in die Aussenwelt festlegt (Abbildung 1).

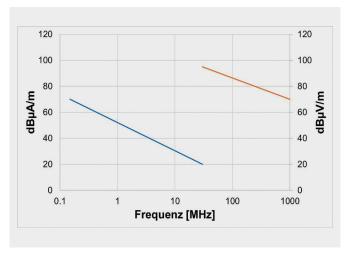


Abbildung 1: Grenzwerte für Störaussendungen von Bahnanlagen nach EN 50121-2 (äquivalente Entfernung von 10 m ausserhalb des Anlagenzauns)

Die Messungen wurden mit einem Störspannungsempfänger (nach CISPR 16) durchgeführt, der durch FFT-Analyse von Messungen im Zeitbereich in der Lage ist, in der Grössenordnung von Minuten, einen breitbandigen Frequenz-Scan von 9 kHz bis 1 GHz zu liefern. Im Vergleich zu herkömmlichen auf Sweeps im Frequenzbereich basierenden Empfängern (selektive µV-Meter) ist so ein erheblicher Zeitgewinn möglich, insbesondere bei Quasispitzenwert-Bewertung der gemessenen Störspannungen.

Um den gesamten Frequenzbereich abzudecken, sind verschiedene Antennenarten erforderlich. Im Frequenzbereich von 9 kHz – 30 MHz wurde die (horizontale) Komponente des magnetischen Feldes mit einer Loop-Antenne gemessen (Abbildung 2). Im Bereich von 30 bis 300 MHz wird eine bikonische Dipolantenne und im Bereich von 300 MHz bis 1 GHz wird eine logarithmisch-periodische Antenne zur Messung des E-Feldes benutzt.

Abbildung 3 zeigt das grafisch dargestellte Ergebnis einer Beispielsmessung über den gesamten Frequenzbereich von 9 kHz – 1 GHz. Zusammen mit den bei eingeschaltetem Umrichter gemessenen Störspannungen sind jeweils die Hintergrundemissionen bei ausgeschalteter Umrichteranlage dargestellt. Bei 150 kHz weisen die Spektren einen Sprung auf, da dort gemäss EN 55016-1-1 [4] die Messfilterbandbreite von 200 Hz auf 9 kHz umgeschaltet wird. Von 30 MHz bis 1 GHz wird mit einer Bandbreite von 120 kHz gemessen. Die Grafik beinhaltet ebenfalls die Grenzwertkurve für Emissionen von Bahnunterwerken nach EN 50121-2 (rote Linie).







Abbildung 2: Loop-Antenne (links), bikonische Dipolantenne (Mitte), logarithmisch-periodische Antenne (rechts)

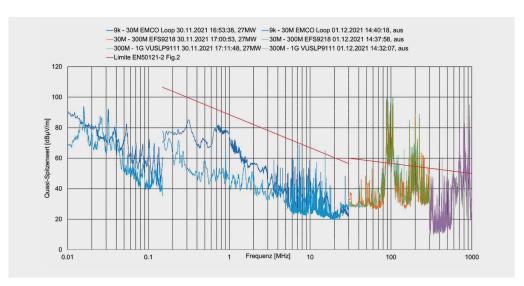


Abbildung 3: Grafisch dargestellte Messresultate über den gesamten Frequenzbereich (9 kHz – 1 GHz)

Deutlich erkennbare Emissionen der Umrichteranlagen wurden bis zu ca. 3 MHz gemessen (Abbildung 3). Im höheren Frequenzbereich zwischen 30 MHz und 1 GHz dominieren die anlagenfremden Hintergrundemissionen. Signalanteile der Umrichteranlage waren in diesem Frequenzbereich sehr viel geringer. Sie wurden von den Hintergrundstörfeldern überdeckt und sind nicht ohne weiteres eindeutig identifizierbar.



AUTOR

Thomas BrüggerDr. sc. ETH
Projektingenieur

Isolationskoordination

Eine fachgerechte Isolationskoordination gehört zu den wichtigsten Voraussetzungen zur Erreichung der erforderlichen Verfügbarkeit aller elektrischer Energieversorgungsnetze. Das Gebiet der Isolationskoordination umfasst einerseits die Ermittlung der notwendigen Reserve bei den Isolationspegeln der Betriebsmittel und andererseits den Schutz vor Überspannungen, welche die Auslegungspegel überschreiten. Die Regeln zur Abstimmung und Kontrolle der Isolationspegel beschäftigt die Betriebsmittelhersteller, die Netzplaner und -betreiber und nicht zuletzt auch die Prüfinstitutionen, wie die FKH.

Der heutige Erkenntnisstand und die bekannten Regeln zur Isolation haben sich aus Erfahrungen und aufgrund einer Reihe von technischen Erneuerungsschritten beim Isolationsdesign und bei den Überspannungsableitern über viele Jahrzehnte entwickelt.

Als wichtiger Meilenstein, und als weitsichtiger Schritt der Hochspannungsingenieure der 50er-Jahre des letzten Jahrhunderts, gilt die Erarbeitung und Herausgabe der ersten internationalen Norm für die Isolationskoordination für Hochspannungsnetzbetriebsmittel: IEC 71 (1.1.1954 heute IEC 60071-1). Das technisch gut begründete Regelwerk ist bis zum heutigen Tag weitgehend erhalten geblieben und bildet die Grundlage für alle Apparateund Betriebsmittelnormen im Hochspannungsbereich. Aufgrund der Norm wurden weltweit gültige Isolationspegel definiert, welche mit Standardtests an den Hochspannungsbetriebsmitteln nachgewiesen werden müssen.

Die IEC-Norm 60071-1 berücksichtigt, zusammen mit den davon abgeleiteten Apparatenormen, unter anderem die im Folgenden aufgezählten Aspekte:

 Die Beanspruchung der Netzkomponenten mit unterschiedlichen betrieblichen Überspannungen. Hierzu gehören auch die Mechanismen für die Ausbreitungsvorgänge von transienten Überspannungen im Netz

- · Die atmosphärischen Einflüsse
- Die Unterscheidung zwischen äusserer selbstheilender Luftisolation und innerer nicht heilender Apparateisolation, die bei Versagen zu einem Ausfall führt
- Das Verhalten der Isolationen bei unterschiedlichen Überspannungsformen
- Die Beanspruchung von Betriebsmitteln bei Transport,
 Montage und Inbetriebsetzung
- Das Alterungsverhalten der Isolation
- Die Schutzpegel der Überspannungsableiter für unterschiedliche Spannungs- und Strombeanspruchungen
- Die Schutzbereiche der Überspannungsableiter

Abbildung 1 zeigt die wichtigsten Zusammenhänge und Pegeldefinitionen nach dem Koordinationskonzept der IEC 60071-1. Die Schaffung von Standardpegeln für alle Netzebenen erlaubt eine rasche Auslegung der Anlagen und Betriebsmittel ohne alle aufgezählten Aspekte für jedes Netzerneuerungsprojekt nachvollziehen zu müssen.

Zur Erläuterung all der komplexen Zusammenhänge, die zum heutigen Regelwerk für die Isolationskoordination geführt haben, wurde vom Technischen Komitee IEC TC 28 der umfangreiche Report IEC 60071-2 geschaffen. Dieser unterstützt die Ingenieure bei der Umsetzung der Isolationsstandards und dokumentiert die physikalischen Grundlagen für die Behandlung von Spezialfällen, die durch die pauschal festgelegten Pegel nicht abgedeckt werden können.

Die Standardisierung von Isolationspegeln durch die Normen war so erfolgreich, dass die Fragen zur Isolationskoordination immer mehr in den Hintergrund gerückt sind. Ausschlaggebend ist auch, dass die grundlegenden isolationstechnischen Fragestellungen im vergangenen Jahrhundert gründlich untersucht und auch dokumentiert worden sind. Die internationale Forschungstätigkeit hat sich inzwischen weitgehend zu Spezialthemen ausserhalb der Standardfragen der Isolationskoordination verschoben.

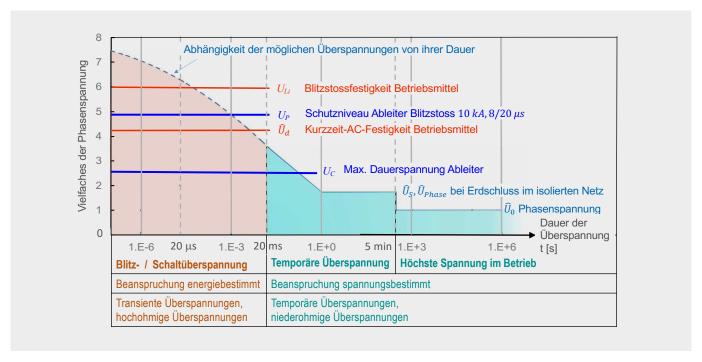


Abbildung 1: Qualitative Darstellung der Überspannungsbeanspruchungen nach IEC 60071-1 mit eingezeichneten Testpegeln für die Isolation und Schutzpegel für die Überspannungsableiter. Bei den eingezeichneten Pegeln handelt es sich ausnahmslos um Spannungsscheitelwerte gegen Erde

Das Gebiet ist deshalb auch aus dem Fokus der Fach- und Normengremien geraten.

Im Rahmen einer Neueinteilung der Studienkomitees (SC) der Cigré hat der technische Ausschuss der CIGRE anlässlich der 39. CIGRE-Konferenz vom 26.–30. August 2002 in Paris beschlossen, das SC 33 als eigenes Komitee für Isolationskoordination aufzulösen und allfällige noch bestehende Fragen im neuen Studienkomitee C4 «Power Systems Performance», zusammen mit Themen der Netzqualität und der elektromagnetischen Verträglichkeit zu behandeln. Interventionen der renommierten Experten auf dem Gebiet der Isolationskoordination bei der Cigré-Leitung konnten diesen Entscheid nicht mehr beeinflussen.

Ein weiterer Schritt in diese Richtung erfolgte im Jahr 2018 durch die Integration des Technischen Komitees der IEC TC 28 «Isolationskoordination» in das bestehende Komitee für die Errichtung von Hochspannungsanlagen TC 99.

Solche Entwicklungen haben auch dazu geführt, dass das Bewusstsein für die Fragen der Isolationskoordination in der Branche teilweise verloren gegangen und auch die Zahl verfügbarer Experten gesunken ist. Dennoch treten in der Praxis immer wieder offene Fragen im Rahmen von Netzprojekten auf. Darunter sind auch Problemstellungen durch neue technische Komponenten und Lösungen wie leistungselektronische Apparate und Einrichtungen für die dezentrale Energieversorgung. Die FKH wurde aus diesem Grund in den letzten Jahren vermehrt für die Beratung auf dem Gebiet der Isolationskoordination herangezogen. Der Vorstand und die Geschäftsleitung haben beschlossen, sich in Zukunft noch vermehrt mit Fragen der Isolationskoordination auseinanderzusetzen (vgl. auch Beitrag «Netzberechnungen und EMTP»).

Am 22. November 2022 plant die FKH die Durchführung einer Fachtagung zum Thema «Isolationskoordination» in der Fachhochschule Nordwestschweiz, Brugg Windisch, bei welcher die genannten Problemstellungen und Untersuchungsmethoden zur Sprache kommen werden.



AUTOR

Reinhold Bräunlich
Dr. sc. techn. ETH
Geschäftsleiter

Magnetfeldmessungen an einem Verteiltransformator

Die NISV legt für Starkstromanlagen mit Netzbetriebsfrequenz 50 Hz, folgende Grenzwerte fest:

- Immissionsgrenzwert: 100 μT an Orten, wo sich Personen aufhalten können
- Anlagengrenzwert / Emissionsgrenzwert: 1 µT an Orten mit empfindlicher Nutzung

Die FKH erhielt in diesem Jahr den Auftrag die 1-µT-Isolinie eines 3,15-MVA-Verteiltransformators der Sächsisch-Bayrischen

Starkstrom-Gerätebau GmbH (kurz SBG) auszumessen.

Abbildung 1 zeigt das Schema der Testanordnung. Der untersuchte Transformator wurde von einem 3-phasigen Umrichter und einem Step-Up-Trafo von der Oberspannungsseite her gespeist. Die Niederspanungsseite war am Ende einer 10 m langen Niederspannungsfortleitung kurzgeschlossen.

Die induktive Blindleistung des kurzgeschlossenen Verteiltransformators wurde durch eine parallelgeschaltete Kondensatorbank kompensiert.

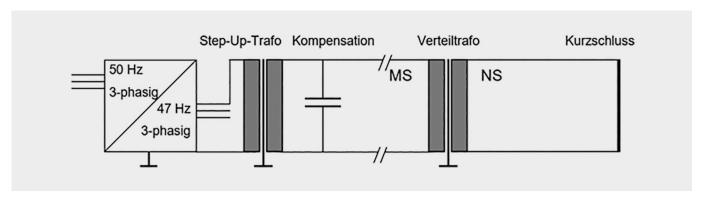


Abbildung 1: Schema der Testanordnung



Abbildung 2: Messaufbau und Messpunktaufnahme in der Horizontalebene

Für eine verlässliche Magnetfeldmessung an einem Transformator sind zwei Probleme zu bewältigen: Einerseits muss der Einfluss der störenden, netzfrequenten, magnetischen Flussdichten aus der Umgebung eliminiert werden. Hierzu wurden die Untersuchungen bei einer Betriebsfrequenz von 47 Hz durchgeführt und die magnetischen Flussdichtewerte bei dieser Frequenz schmalbandig bei 47 Hz gemessen. Andererseits muss der Einfluss des Feldes rund um die Niederspannungskabel und deren Kurzschluss minimiert werden. Aus diesem Grund wurden die 32 Kabeladern der Niederspannungsfortleitung (8 pro Phase und Sternpunkt mit einem gesamten Phasenstrom von 4536 A) so angeordnet, dass sich die Felder gegenseitig kompensieren. Die Kurzschlussverschaltung wurde möglichst kompakt und in ausreichender Distanz vorgenommen, sodass sich ein Feldeinfluss ausschliessen liess. (siehe Abbildung 2).



Abbildung 3: Kurzschluss am Ende der Niederspannungsfortleitung

Der Koordinaten-Nullpunkt wurde beim Flächenmittelpunkt des Verteiltransformators auf Höhe der Rollenauflage gewählt. Relativ dazu wurden die 1-µT-Isolinien bei 100% Belastung in den senkrechten Symmetrieebenen X-Y, X-Z und Y-Z gemessen und dargestellt. Die Ergebnisse in der horizontalen X-Y-Ebene auf 1 m Höhe können der Abbildung 3 entnommen werden.

Die Niederspannungsfortleitung wurde in die positive Y-Richtung ausgeführt. In diesem Bereich nahm deshalb die gemessene Distanz der 1-µT-Isolinie zum Transformatormittelpunkt etwas zu.

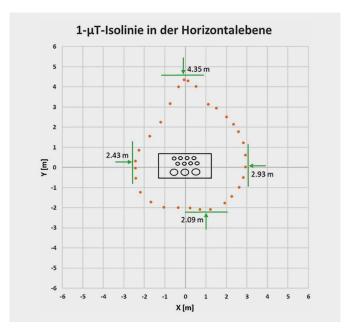


Abbildung 4: 1-µT-Isolinie in der Horizontalebene

Die gemessene magnetische Flussdichte kann mit folgender bekannter Worstcase-Formel verglichen werden [1]:

$$B_{rms}(r) = \frac{k_{Tr}P_N}{r^3}$$

Dabei ist P_N die Nennleistung des Transformators in kVA und k_{Tr} ein Erfahrungsfaktor von 0,04 Tm³/kVA. Mithilfe dieser Formel kann umgekehrt der Radius r der 1- μ T-Isolinie um das Transformatorenzentrum bestimmt werden. Im vorliegenden Fall sind dies 5,01 m. Der Vergleich mit den gemessenen Abständen in der X- und der Y-Ebene in Abbildung 4 zeigt, dass es sich hier um einen Transformator handelt, der auf niedrigere Magnetfeldemission optimiert wurde. Die gemessene 1- μ T-Linie liegt mit Ausnahme der Richtung der Niederspannungskabelabgänge innerhalb von 3 m.

 F. Alber, «Verteiltransformatoren und EMV», etz, vol. 115, no. 20, pp. 1174–1177, 1994.



AUTOR

Martina Stadelmann MSc ETH ETIT Projektingenieurin

FKH-Labor für Isolierölanalysen

Analyseaufträge

Das Öllabor konnte im Berichtsjahr die Zahl der analysierten Proben erneut leicht steigern. Der Umsatz des Rekordjahrs 2020 konnte aber nicht ganz erreicht werden, da der Anteil an Proben, bei denen nur die dielektrisch-chemischen Parameter bestimmt werden, weiter zugenommen hat. Diese Proben stammen in der Regel von Mittelspannungstransformatoren. Ihr Anteil beträgt aktuell 60% (bis 2012 lag ihr Anteil in der Regel unter 10%).

Notfalldienst

Im Jahr 2021 wurden zwei Notfalleinsätze nach Buchholzalarmen durchgeführt, zwei weitere Proben wurden durch die Kunden geliefert. In zwei Fällen waren im Buchholzrelais brennbare Gase* enthalten, und der Befund «interner elektrischer Fehler» wurde durch weitere Diagnosemessungen bestätigt.

Prüfung der Oxidationsstabilität nach IEC 61125:2018

Im Berichtsjahr hat das Öllabor 7 Prüfungen der Oxidationsstabilität durchgeführt. Bei dieser Prüfung wird Öl bei 120 °C in Anwesenheit von Kupfer als Katalysator und unter Durchblasen von Luft künstlich gealtert. Die Alterungsdauer und die Anforderungen werden in der IEC 60296 definiert: 164 Std. für nicht inhibierte Öle und 500 Std. für inhibierte Öle. Aus Sicht der Norm ist diese Prüfung streng genommen nur für ungebrauchte Öle definiert. Abbildung 1 zeigt als Beispiel die Veränderung der Ölfarbe während der Alterung.





Abbildung 1: Ölfarbe vor und nach der Alterung (Beispiel eines Öls mit schlechter Oxidationsstabilität)

In der Praxis wird die Prüfung aber auch bei betriebsgealterten Ölen in folgenden Fällen angewandt:

- Prüfung der Mischbarkeit von Ölen (z.B. wenn die Sorte unbekannt ist)
- Prüfung der Wirksamkeit einer Regenerierung (Fullerung)
- Prüfung der Wirksamkeit einer Nachinhibierung ohne vorgängige Regenerierung (ist in der Regel nur nachhaltig, wenn das Öl nur sehr schwach gealtert ist, andernfalls wird der Inhibitor durch vorhandene Alterungsprodukte (Radikale) zu schnell wieder abgebaut)

Qualitätssicherung

Zur Erhaltung der 2012 erworbenen Akkreditierung gemäss ISO/IEC 17025 als «Prüfstelle für Isolieröl und Buchholzgas» durch die Schweizerische Akkreditierungsstelle SAS wird jedes Jahr an einem internationalen Ringversuch teilgenommen. Von den 20 geprüften Parametern lagen im Jahr 2020 bei der FKH alle im «guten» bzw. «befriedigenden» Bereich.

* Bei einem Fehler in einem Transformator entstehen die brennbaren Gase Wasserstoff, Methan, Ethan, Ethylen, Acetylen und Kohlenstoffmonoxid, je nach Fehlerart, in unterschiedlichen Konzentrationen. Die einfachste Diagnosemethode, die vor allem früher angewandt wurde, besteht daher im Versuch, das aus dem Buchholzrelais abgelassene Gas anzuzünden.



AUTOR

Dr. Thomas HeizmannDr. sc. techn. ETH
Leiter Isolieröllabor

Neues Filtersystem für Erdungsund Leitungsimpedanzmessungen

Bei Erdungs- und Leitungsimpedanzmessungen werden ein Versuchsstrom in der Grössenordnung von 50 bis 200 A in das Erdungssystem, oder in die untersuchte Leitung eingespeist, und die Spannungsabfälle, Erdfehlerrückströme und Impedanzen gemessen.

Bei solchen Untersuchungen stehen die Unterwerke in der Regel in Betrieb. Auch die Betriebsströme verursachen Erdausgleichsströme und induzierte Spannungen in den Leitungen, die sich in den Messsignalen als Störsignal überlagern.

Moderne Erdungs- und Impedanzmesssysteme verwenden deshalb eine von der Netzfrequenz abweichende Messfrequenz. Das Signal mit der Messfrequenz kann dann aus den überlagerten Störungen herausgefiltert werden. Die FKH und auch andere Dienstleister für Erdungsuntersuchungen setzen hierzu seit vielen Jahren das Prinzip der phasensynchronen Signalgleichrichtung ein (im Fachjargon: Einfang- oder Lock-in-Verstärker). Die abweichende Messfrequenz erfordert für präzise Messungen von Leitungsimpedanzen, dass die komplexen Impedanzwerte oberhalb und unterhalb von 50 Hz gemessen und anschliessend interpoliert werden.

Das bisherige System zur Filterung der Störungen bestand aus einem universellen Labor-Lock-in-Verstärker mit vorgelagertem Bandsperrefilter für 50 Hz und 16,7 Hz. Es war in der Bedienung für Vor-Ort-Messungen wenig komfortabel und auch anfällig für diverse Fehlereinflüsse.

Die FKH hat deshalb ein neues digitales System entwickeln lassen, welches alle Messaufgaben präziser, effizienter und übersichtlicher erledigt. Beim neuen Filtersystem sind das Zeitfenster der Signalerfassung und die Auswertefrequenz frei wählbar. Zudem sind Oszilloskop, Spektrumanalysator und Auswertung in einer Oberfläche vereint. Das gefilterte Signal kann dem Rohsignal gegenübergestellt werden, wodurch die Messung transparent überprüft werden kann.

Die hohe Empfindlichkeit des Filtersystems erlaubt selbst dann noch zuverlässige Messungen, wenn das Nutzsignal eine 1000mal kleinere Amplitude als das Störsignal besitzt.



Abbildung 1: Erdungs- und Impedanz-Messsystem mit Filtereinheit im Erdungsmessanhänger der FKH

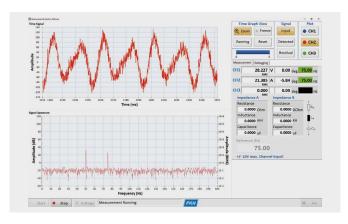


Abbildung 2: Monitordarstellung der Messsignale im Zeit- und Frequenzbereich (hier Rohsignal) und der Messwerte



AUTOR

Philippe Alff MSc ETH ETIT Projektingenieur

Netzberechnungen und EMTP

Die theoretische Untersuchung von elektrischen Netzvorgängen stellt eine wichtige Dienstleistung der FKH dar. Ergänzend zur messtechnischen Zustandsbeurteilung des Netzkomponenten und deren Belastung im technischen Fall.

Die Geschäftsleitung und der Vorstand der FKH haben deshalb im vergangenen Jahr beschlossen, die Projektberichte und die EMTP-Modelle für die Berechnung von transienten Netzvorgängen von Koeppl Power Experts (KPE) zu erwerben und die Dienstleistungen der ab 2022 nicht mehr aktiven Firma weiterzuführen.

Die FKH liefert dadurch einen Beitrag zur Erhaltung des Wissens und der Erkenntnisse aus der langjährigen Tätigkeit der Firma KPE.

Koeppl Power Experts und die FKH hatten bereits früher in zahlreichen Studienprojekten zusammengearbeitet. Künftig werden die FKH-Berechnungen von transienten Netzvorgängen als Studiendienstleistung selbstständig angeboten.

Das Interesse der FKH-Mitglieder an der erweiterten Dienstleistung ist bereits vorhanden. Im Jahr 2021 wurden schon erste Projekte mit transienten Netzberechnungen mithilfe von EMTP erfolgreich durch die FKH abgewickelt. Unter

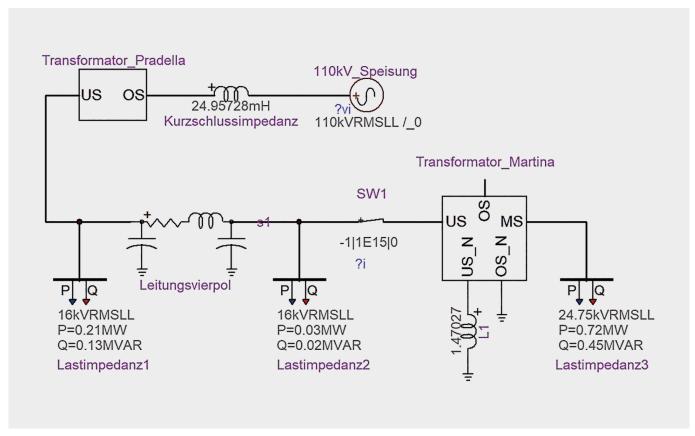


Abbildung 1: Beispiel eines vereinfachten Simulationsmodells in EMTP

anderem wurden die Einschalttransienten eines Dreiwickler-Transformators (110/24.75/16 kV) in der Zentrale Martina bei Zuschaltung von der Mittelspannung (16-kV-Netz) her berechnet. Abbildung 1 zeigt eine stark vereinfachte Darstellung des Simulationsmodells in der verwendeten Software.

Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf der Spannungen nach einem einphasigen Erdschluss

Mithilfe eines detaillierteren Simulationsmodells konnten für die Engadiner Kraftwerke AG die maximal auftretenden Einschaltstromscheitelwerte sowie die Spannungseinbrüche in den beteiligten Mittelspannungsnetzen simuliert werden.

Eine weitere Anwendung von EMTP ist die Simulation von Störungen. Abbildung 2 zeigt die Spannungen im isolierten Netz bei einem Erdschluss.



Philippe Alff MSc ETH ETIT Projektingenieur

AUTOR

AUTOR



Martina Stadelmann MSc ETH ETIT Projektingenieurin

FKH-Werkstatt, Spezialitäten, Eigenentwicklungen

Die Spezialisierung der FKH auf Vor-Ort-Hochspannungsprüfungen stellt besondere Anforderungen an die Einrichtungen und Hilfsmittel für den Aufbau der Prüfanlagen. Hierfür geeignete flexibel einsetzbare Vorrichtungen sind aufgrund der Spezialisierung in der Regel nicht am Markt erhältlich. Die FKH-Werkstatt in der Versuchsstation Däniken konstruiert und entwickelt deshalb viele Einrichtungen und Geräte selbst. Die Vorgaben und Ideen für die laufende Weiterentwicklung und Verbesserung der Prüfanlagenteile liefern die Erfahrungen aus den Vor-Ort-Prüfaufträgen. Für die FKH ist diese Kombination der Arbeiten vor Ort und in der Werkstatt, welche durch dasselbe Personal bewältigt wird, eine jahrzehntelange, erfolgreiche Tradition. Durch sie konnten Qualität und Effizienz, sowohl der Gerätschaft wie auch der Prüfungen, auf ein hohes Niveau gebracht werden.

Die Mehrheit der vielen Eigenentwicklungen wird in unserer Werkstatt von A–Z selbst umgesetzt. Häufig müssen während der Entwicklung flexibel Anpassungen vorgenommen werden, die nur möglich sind, wenn der Herstellungsprozess vollständig im eigenen Hause erfolgt (vgl. Werkstatt-Ansichten, Abbildungen 1 und 2).



Abbildung 1: Modern ausgestattete Werkstatt, welche fast alle Arbeitsschritte ermöglicht



Abbildung 2: Schlosserei in welcher u. A. Podeste und Trägergerüste für Prüfanschlüsse, wie zum Beispiel Kabelprüfadapter, hergestellt werden können



Abbildung 5: Holzkiste mit Teleskop-Rohren mit Durchmesser 10/12 cm für flexibel einsetzbare Hochspannungsverbindungen vor Ort

Die Abbildungen 3 bis 7 zeigen Beispiele kürzlich realisierter Prüfund Messeinrichtungen für unterschiedliche Testaufgaben vor Ort.



Abbildung 3: Beispiel eines selbstentwickelten und vollständig realisierten Kabelprüfadapters von einem Connex-Steckendverschluss Grösse 5 auf einen Freiluftendverschluss



Abbildung 6: Messtechnische Einzelteile wie Sensoren und koaxiale Hochfrequenzsignal-Adapter werden übersichtlich geordnet und in transportsicheren, ausgeschäumten Koffern und Kisten verpackt



Abbildung 4: Prüfadapter aus GIS-Teilen für die Prüfungen von GIS der Spannungsreihe 170 kV mit Connex-Steckendverschluss Grösse 6 auf Freiluftdurchführung

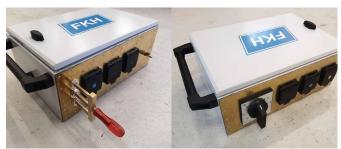


Abbildung 7: Hochstrom-Verteil- und Umschaltbox für Erdschlussstromeinspeisungen bei Erdungsmessung vor Ort. Sie ermöglicht ein sicheres Zu- und Umschalten der Phasen. Der selbstkonstruierte dreipolige Trennstecker dient der Parallelschaltung der Phasen für die Einspeisung des Erdfehler-Messstroms.



AUTOR

Mario GobeliDipl. El.-Ing. FH
Projektingenieur

FKH-Fachtagung 2021 «Hochspannungsmesswandler»

Die letztjährige FKH-Fachtagung zum Thema Hochspannungsmesswandler fand am 8. Dezember 2021 im Kongress- und Kursaal Bern statt. Sie wurde sehr kompetent durch den Vorsitzenden des Technischen Komitees Messwandler Dr. Joachim Schmid von High Voltage Engineering, Müllheim (D), geleitet.

Die Schwerpunkte der Veranstaltung lagen in der Gegenüberstellung der Messprinzipien und Bauformen sowie der unterschiedlichen Signalübertragungsverhalten und Messunsicherheiten. Angesichts der Schnittstellenfunktion der Messwandler, wurde der besondere Stellenwert der Normierung erklärt.

Letztlich wurde auch auf die Sicherstellung einer zuverlässigen Hochspannungsisolation eingegangen, die bei allen Messwandlerprinzipien ein wichtiges Qualitätskriterium darstellt.

Zahlreiche Fragen und Anmerkungen aus dem Publikum, sowie angeregte Diskussionen in den Pausen, haben gezeigt, dass sowohl bei den Anforderungen, wie auch in der Entwicklung der Messwandler, aktuell viele Neuerungen zu verzeichnen sind. Die Veranstaltung schloss mit einem informellen Zusammensein bei einem Apéro.

08.30 - 09.05 Willkommenskaffee 09.10 - 09.15 Begrüssung durch den Präsidenten Christian Lindner, Axpo Grid AG 09.20 - 09.35 Einführung, Wandlertypen, Normierung Joachim Schmid, High Voltage Engineering 09.40 - 10.10 RC-Teiler im Einsatz zur Messung der Netzqualität und transienter Störgrössen Raphael Wyder, Pfiffner Messwandler AG Messung von Oberwellen und Transienten im Hochspannungsnetz mit temporären Messeinrichtungen Dr. Thomas Brügger, FKH Kaffeepause 11.15 - 11.45 Ferro-Resonanzschwingungen Dr. Udo Prucker, Trench Germany GmbH Mittagessen 13.55 - 14.25 Digitale Multifunktions-Schnittstellen für Messwandlersignale in HS-Schaltanlagen Peter Kreutzer, Hitachi Energy 14.30 - 15.00 Auswahlkriterien für die Messwandlerbeschaffungen und Erfahrungen im Hochspannungsnetz Pascal Gambon, Axpo Grid AG 15.05 - 15.35 Optische Wandler Dr. Thomas Heid, Condis SA 15.40 - 16.10 Prüftechnik an Strom- und Spannungswandler AG Linear-Kerne / TP-Kerne Martin Boss, Pfiffner Messwandler AG		Beitrag	Referent		
09.20 - 09.35Einführung, Wandlertypen, NormierungJoachim Schmid, High Voltage Engineering09.40 - 10.10RC-Teiler im Einsatz zur Messung der Netzqualität und transienter StörgrössenRaphael Wyder, Pfiffner Messwandler AG10.15 - 10.45Messung von Oberwellen und Transienten im Hochspannungsnetz mit temporären MesseinrichtungenDr. Thomas Brügger, FKHKaffeepauseDr. Udo Prucker, Trench Germany GmbH11.50 - 12.00Messwandler für gekapselte SchaltanlagenRobert Lüscher, GE Grid (Switzerland) GmbHMittagessenMittagessen13.55 - 14.25Digitale Multifunktions-Schnittstellen für Messwandlersignale in HS-SchaltanlagenPeter Kreutzer, Hitachi Energy14.30 - 15.00Auswahlkriterien für die Messwandlerbeschaffungen und Erfahrungen im HochspannungsnetzPascal Gambon, Axpo Grid AG15.05 - 15.35Optische WandlerDr. Thomas Heid, Condis SA15.40 - 16.10Prüftechnik an Strom- und SpannungswandlernDr. Erik Sperling, Omicron16.15 - 16.45Linear-Kerne / TP-KerneMartin Boss, Pfiffner Messwandler AG	08.30 - 09.05	Willkommenskaffee			
09.40 – 10.10RC-Teiler im Einsatz zur Messung der Netzqualität und transienter StörgrössenRaphael Wyder, Pfiffner Messwandler AG10.15 – 10.45Messung von Oberwellen und Transienten im Hochspannungsnetz mit temporären MesseinrichtungenDr. Thomas Brügger, FKHKaffeepauseKaffeepause11.15 – 11.45Ferro-ResonanzschwingungenDr. Udo Prucker, Trench Germany GmbH11.50 – 12.00Messwandler für gekapselte SchaltanlagenRobert Lüscher, GE Grid (Switzerland) GmbHMittagessenPeter Kreutzer, Hitachi Energy13.55 – 14.25Digitale Multifunktions-Schnittstellen für Messwandlersignale in HS-SchaltanlagenPeter Kreutzer, Hitachi Energy14.30 – 15.00Auswahlkriterien für die Messwandlerbeschaffungen und Erfahrungen im HochspannungsnetzPascal Gambon, Axpo Grid AG15.05 – 15.35Optische WandlerDr. Thomas Heid, Condis SA15.40 – 16.10Prüftechnik an Strom- und SpannungswandlernDr. Erik Sperling, Omicron16.15 – 16.45Linear-Kerne / TP-KerneMartin Boss, Pfiffner Messwandler AG	09.10 - 09.15	Begrüssung durch den Präsidenten	Christian Lindner, Axpo Grid AG		
Netzqualität und transienter Störgrössen Messung von Oberwellen und Transienten im Hochspannungsnetz mit temporären Messeinrichtungen Kaffeepause 11.15 – 11.45 Ferro-Resonanzschwingungen Dr. Udo Prucker, Trench Germany GmbH 11.50 – 12.00 Messwandler für gekapselte Schaltanlagen Mittagessen Digitale Multifunktions-Schnittstellen für Messwandlersignale in HS-Schaltanlagen Auswahlkriterien für die Messwandler- beschaffungen und Erfahrungen im Hoch- spannungsnetz Dr. Udo Prucker, Trench Germany GmbH Robert Lüscher, GE Grid (Switzerland) GmbH Peter Kreutzer, Hitachi Energy Pascal Gambon, Axpo Grid AG Pascal Gambon, Axpo Grid AG Prüftechnik an Strom- und Spannungs- wandlern Dr. Thomas Heid, Condis SA Dr. Erik Sperling, Omicron Martin Boss, Pfiffner Messwandler AG	09.20 - 09.35	Einführung, Wandlertypen, Normierung	Joachim Schmid, High Voltage Engineering		
10.15 – 10.45im Hochspannungsnetz mit temporären MesseinrichtungenDr. Thomas Brügger, FKH11.15 – 11.45Ferro-ResonanzschwingungenDr. Udo Prucker, Trench Germany GmbH11.50 – 12.00Messwandler für gekapselte Schaltanlagen MittagessenRobert Lüscher, GE Grid (Switzerland) GmbH13.55 – 14.25Digitale Multifunktions-Schnittstellen für Messwandlersignale in HS-SchaltanlagenPeter Kreutzer, Hitachi Energy14.30 – 15.00Auswahlkriterien für die Messwandlerbeschaffungen und Erfahrungen im HochspannungsnetzPascal Gambon, Axpo Grid AG15.05 – 15.35Optische WandlerDr. Thomas Heid, Condis SA15.40 – 16.10Prüftechnik an Strom- und SpannungswandlernDr. Erik Sperling, Omicron16.15 – 16.45Linear-Kerne / TP-KerneMartin Boss, Pfiffner Messwandler AG	09.40 – 10.10	_	Raphael Wyder, Pfiffner Messwandler AG		
11.15 – 11.45Ferro-ResonanzschwingungenDr. Udo Prucker, Trench Germany GmbH11.50 – 12.00Messwandler für gekapselte SchaltanlagenRobert Lüscher, GE Grid (Switzerland) GmbHMittagessenDigitale Multifunktions-Schnittstellen für Messwandlersignale in HS-SchaltanlagenPeter Kreutzer, Hitachi Energy14.30 – 15.00Auswahlkriterien für die Messwandlerbeschaffungen und Erfahrungen im HochspannungsnetzPascal Gambon, Axpo Grid AG15.05 – 15.35Optische WandlerDr. Thomas Heid, Condis SA15.40 – 16.10Prüftechnik an Strom- und SpannungswandlernDr. Erik Sperling, Omicron16.15 – 16.45Linear-Kerne / TP-KerneMartin Boss, Pfiffner Messwandler AG	10.15 – 10.45	im Hochspannungsnetz mit temporären	Dr. Thomas Brügger, FKH		
11.50 – 12.00 Messwandler für gekapselte Schaltanlagen Mittagessen 13.55 – 14.25 Digitale Multifunktions-Schnittstellen für Messwandlersignale in HS-Schaltanlagen 14.30 – 15.00 Auswahlkriterien für die Messwandlerbeschaffungen und Erfahrungen im Hochspannungsnetz 15.05 – 15.35 Optische Wandler 15.40 – 16.10 Prüftechnik an Strom- und Spannungswandlern 16.15 – 16.45 Linear-Kerne / TP-Kerne Messwandler AG		Kaffeepause			
Mittagessen 13.55 – 14.25 Digitale Multifunktions-Schnittstellen für Messwandlersignale in HS-Schaltanlagen 14.30 – 15.00 Auswahlkriterien für die Messwandlerbeschaffungen und Erfahrungen im Hochspannungsnetz 15.05 – 15.35 Optische Wandler Dr. Thomas Heid, Condis SA 15.40 – 16.10 Prüftechnik an Strom- und Spannungswandlerbeswandlern Dr. Erik Sperling, Omicron Martin Boss, Pfiffner Messwandler AG	11.15 – 11.45	Ferro-Resonanzschwingungen	Dr. Udo Prucker, Trench Germany GmbH		
13.55 – 14.25 Digitale Multifunktions-Schnittstellen für Messwandlersignale in HS-Schaltanlagen Auswahlkriterien für die Messwandlerbeschaffungen und Erfahrungen im Hochspannungsnetz 15.05 – 15.35 Optische Wandler Dr. Thomas Heid, Condis SA 15.40 – 16.10 Prüftechnik an Strom- und Spannungswandlern Dr. Erik Sperling, Omicron Martin Boss, Pfiffner Messwandler AG	11.50 – 12.00	Messwandler für gekapselte Schaltanlagen	Robert Lüscher, GE Grid (Switzerland) GmbH		
Messwandlersignale in HS-Schaltanlagen Auswahlkriterien für die Messwandlerbeschaffungen und Erfahrungen im Hochspannungsnetz Dr. Thomas Heid, Condis SA Dr. Erik Sperling, Omicron Martin Boss, Pfiffner Messwandler AG		Mittagessen			
14.30 - 15.00beschaffungen und Erfahrungen im HochspannungsnetzPascal Gambon, Axpo Grid AG15.05 - 15.35Optische WandlerDr. Thomas Heid, Condis SA15.40 - 16.10Prüftechnik an Strom- und SpannungswandlernDr. Erik Sperling, Omicron16.15 - 16.45Linear-Kerne / TP-KerneMartin Boss, Pfiffner Messwandler AG	13.55 – 14.25	G	Peter Kreutzer, Hitachi Energy		
15.40 – 16.10 Prüftechnik an Strom- und Spannungs- wandlern Dr. Erik Sperling, Omicron Martin Boss, Pfiffner Messwandler AG	14.30 – 15.00	beschaffungen und Erfahrungen im Hoch-	Pascal Gambon, Axpo Grid AG		
wandlern 16.15 – 16.45 Linear-Kerne / TP-Kerne Martin Boss, Pfiffner Messwandler AG	15.05 – 15.35	Optische Wandler	Dr. Thomas Heid, Condis SA		
	15.40 – 16.10	•	Dr. Erik Sperling, Omicron		
	16.15 – 16.45	Linear-Kerne / TP-Kerne	Martin Boss, Pfiffner Messwandler AG		
ab 16.45 Ausklang, Apéro	ab 16.45	Ausklang, Apéro			

Der Fachtagungsband kann auf der FKH-Internetseite unter «Fachtagungen» heruntergeladen werden.



Teilnahme an Fachveranstaltungen, Referate, Publikationen

Teilnahme an Fachveranstaltungen, Referate

Philippe Alff

FKH-Fachtagung, Hochspannungsmesswandler, 8. Dezember 2021, Bern

Philippe Alff

Electrosuisse Fachtagung Leitungsbau 2021, 1. September 2021, Pfäffikon SZ

Reinhold Bräunlich

Vortrag «Streuströme bzw. Streuspannungen in Rinderhaltungsbetrieben, Erfahrungen aus der Schweiz» Webinar, Landwirtschaftsamt Landkreis Sigmaringen "Schadstoffe und Streuströme in der Rinderhaltung, 27. Oktober 2021, online

Reinhold Bräunlich

FKH-Fachtagung, Hochspannungsmesswandler, 8. Dezember 2021, Bern

Thomas Brügger

Vortrag «PQ-Messungen mit unkonventionellen Wandlern» bzw. «PQ Measurements with Unconventional Instrument Transformers» OMICRON Diagnoseforum, 23.–24. März 2021, online

Thomas Brügger

FKH-Fachtagung, Hochspannungsmesswandler, 8. Dezember 2021, Bern

Pascal Fehlmann

FKH-Fachtagung, Hochspannungsmesswandler, 8. Dezember 2021, Bern

Diego Friedli

FKH-Fachtagung, Hochspannungsmesswandler, 8. Dezember 2021, Bern

Stefan Neuhold

Anlagentagung 2021: SF6-Ersatz, Spannungsqualität und weitere spannende Themen rund um den Anlagenbau, 22. September 2021 – Kultur & Kongresshaus Aarau

Stefan Neuhold

FKH-Fachtagung, Hochspannungsmesswandler, 8. Dezember 2021, Bern

Martina Stadelmann

Forum Innovation Grid 2021, 7. Dezember 2021, online

Martina Stadelmann

FKH-Fachtagung, Hochspannungsmesswandler, 8. Dezember 2021, Bern

Michael Walter

Forum Innovation Grid 2021, 7. Dezember 2021, online

Michael Walter

FKH-Fachtagung, Hochspannungsmesswandler, 8. Dezember 2021, Bern

Publikationen

G. Storf

«Erdung in Mittelspannungsnetzen», Bulletin 5/2021, Seiten 41 ff

St. Neuhold

«Dielectric testing of gasinsulated HVDC systems», CIGRE Broschüre 842, JWG D1/B3.57

Mitgliedschaft / Mitarbeit in Fachgremien und Kommissionen

Die FKH ist bei folgenden Institutionen als Mitglied eingetragen

Electrosuisse

Institutionelles Mitglied bei Electrosuisse

Förderkreis «Blitzschutz und Blitzforschung» des VDE, Frankfurt am Main

Mitglied im Förderkreis des ABB (Ausschuss Blitzschutz und Blitzforschung)

Cigré

Firmenmitgliedschaft

VDF

Firmenmitgliedschaft

Die FKH ist bei folgenden nationalen und internationalen Fachgremien vertreten

CES electrosuisse TK 2: «Elektrische Maschinen»

Mitglied: Thomas Brügger

CES/SEV electrosuisse TK 10: «Flüssigkeiten für elektronische Anwendungen»

Mitglied: Thomas Heizmann (Vorsitzender)

CES electrosuisse TK 14: «Transformatoren»

Mitglied: Pascal Fehlmann

CES electrosuisse TK 17AC: «Hochspannungsschaltgeräte und Schaltanlagen»

Mitglied: Martina Stadelmann

CES electrosuisse TK 20: «Elektrische Kabel»

Mitglied: Dominic Kleger

CES electrosuisse TK 42: «Hochspannungs- und Hochstrom-Prüftechnik»

Mitglieder: Michael Walter, Thomas Brügger

CIGRE JWG A2/D1.51: «Improvements to partial discharge measurements for factory and site acceptance tests of power transformers»

Mitglied: Pascal Fehlmann

CIGRE WG B1.68: «Condition evaluation and lifetime strategy»

Mitglied: Diego Friedli

CES electrosuisse TK Erdungen

Mitglied: Diego Friedli

CIGRE WG D1.63: «Partial discharge detection under DC Voltage Stress»

Mitglied: Stefan Neuhold

CIGRE WG B3.50: «Concepts for on-site HV testing of GIS after installation, extension, retrofit or repair»

Mitglied: Stefan Neuhold

CIGRE JWG D1/B3.57: «Dielectric Testing of Gas-Insulated HVDC Systems»

Mitglied: Stefan Neuhold

CIGRE WG D1.66: «Requirements of partial discharge monitoring systems for Gas-Insulated systems»

Mitglied: Stefan Neuhold

FKH-Mitglieder

Verbände

Electrosuisse

8320 Fehraltorf

Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE)

5001 Aarau

AEW Energie AG	Industrielle Werke Basel
5001 Aarau	4053 Basel
AG Kraftwerk Wägital	Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG
8854 Siebnen	4658 Däniken
Axpo Grid AG	Kraftwerke Oberhasli AG
5401 Baden	3862 Innertkirchen
Azienda Elettrica Ticinese	Primeo Netz AG
6501 Bellinzona	4142 Münchenstein
Aziende Industriali della città di Lugano SA	Sankt Galler Stadtwerke
6901 Lugano	9001 St. Gallen
BKW Energie AG	SBB Energie
3013 Bern	3052 Zollikofen
CKW AG	Services Industriels Lausanne (SIL)
6002 Luzern	1000 Lausanne 9
EKT AG	Services Industriels de Genève (SIG)
9320 Arbon	1211 Genève 2
Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	St. Gallisch-Appenzellische Kraftwerke AG
8050 Zürich	9001 St. Gallen
Elektrizitätswerke des Kantons Zürich	Swissgrid AG
8022 Zürich	5001 Aarau
Energie-Service Biel/Bienne	Stadtwerk Winterthur
2504 Biel	8402 Winterthur
Energie Wasser Bern	Verzasca SA
3001 Bern	6901 Lugano
ewl energie wasser luzern	Werke am Zürichsee AG
6002 Luzern	8700 Küsnacht

AFRY Schweiz AG	Nexans Suisse SA
8048 Zürich	2016 Cortaillod
Agea-Kull AG	OMICRON electronics GmbH
4552 Derendingen	A-6833 Klaus
Arnold AG, Energie & Telecom	Pfiffner Messwandler AG
3072 Ostermundigen	5042 Hirschthal
Bouygues E&S EnerTrans AG	Pfisterer Switzerland AG
5013 Niedergösgen	6460 Altdorf
Brugg Kabel AG	Rauscher & Stöcklin
5200 Brugg	4450 Sissach
Condis SA	Retranol GmbH
1728 Rossens	8810 Horgen
Eidgenössisches Starkstrominspektorat	SGB-SMIT Transformatoren Schweiz AG
3320 Fehraltorf	5012 Schönenwerd
GE Grid (Switzerland) GmbH	Siemens Energy AG
5036 Oberentfelden	8047 Zürich
Haefely Test AG	Studer Cables AG
4052 Basel	4658 Däniken
Hitachi Energy Switzerland AG	Trafopower AG
8050 Zürich	5012 Schönenwerd
Megger Schweiz AG	VAPEC AG
5107 Schinznach-Dorf	8304 Wallisellen
Mohaupt High Voltage GmbH A-6142 Mieders	

ABB Technikerschule Baden Elektrotechnik 5400 Baden	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich FG Hochspannungstechnologie 8092 Zürich			
Berner Fachhochschule 3400 Burgdorf	Forschungsgemeinschaft für Hochspannungs- und Hochstromtechnik e.V. (FGH) D-68199 Mannheim			
Ecole d'Ingénieurs de l'Etat de Vaud 1400 Yverdon-les-Bains	Haute Ecole Valaisanne 1950 Sion			
Ecole d'Ingénieurs et d'Architectes de Fribourg 1705 Fribourg	Hochschule für Technik und Architektur Chur 7000 Chur			
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne 1015 Lausanne	Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW 8401 Winterthur			

Neues Mitglied

An der Mitgliederversammlung vom 26. Mai 2021 (auf dem Korrespondenzweg) wurde dem Mitgliedschaftsantrag von folgendem Unternehmen zugestimmt:



Rauscher & Stöcklin Reuslistrasse 32 CH-4450 Sissach

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

Mitgliederbestand per 31. Dezember 2021					
Verbände	2	(2)			
Werksmitglieder		(27)			
Industriemitglieder, Ingenieurbüros und weitere Mitglieder		(22)			
Korrespondierende Mitglieder		(9)			
Total Mitglieder per 31. Dezember 2021 (Stand per 31. Dezember 2020 in Klammern)		(60)			

Zufahrtspläne für die FKH-Standorte

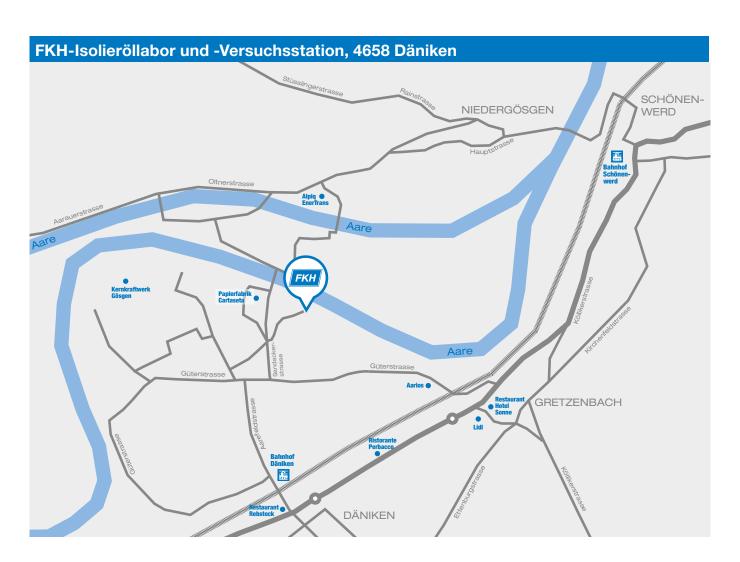




Fachkommission für Hochspannungsfragen Commission d'étude des questions relatives à la haute tension

Hagenholzstrasse 81 · CH-8050 Zürich

Tel. +41 44 253 62 62 • Fax +41 44 253 62 60





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

FKH-Isolieröllabor Tel. +41 62 288 77 99 • Fax +41 62 288 77 90 **FKH-Versuchsstation** Tel. +41 62 288 77 95 • Fax +41 62 288 77 94

Andresenschachen 10 · CH-5013 Niedergösgen



FKH-Hauptsitz

Hagenholzstrasse 81 CH-8050 Zürich Tel. +41 44 253 62 62 Fax +41 44 253 62 60

info@fkh.ch www.fkh.ch

FKH-Isolieröllabor

Andresenschachen 10 CH-5013 Niedergösgen Tel. +41 62 288 77 99 Fax +41 62 288 77 90

FKH-Versuchsstation

Andresenschachen 10 CH-5013 Niedergösgen Tel. +41 62 288 77 95 Fax +41 62 288 77 94