FKH

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

Jahresbericht

2019

Eindrücke Isolierölanalysen

Inhalt

Vorwort des Präsidenten und des Geschäftsleiters 4
Struktur und Leitbild der FKH 6
FKH-Vorstand 7
FKH-Geschäftsstelle 8
Dienstleistungen der FKH 9
Auftragsarbeiten und statistische Übersicht 10
Kabelprüfung der 110-kV-Kabelleitung Pradella–Zernez 12
Prüfung eines Erregertransformators 14
Spannungsprüfung sowie Vogelschutztest an isolationsverstärkten Stromschleifen für Trag-Abspannketten an Masten mit geringen Auslegerabständen 16
DC-Strommessungen Luino und Lavorgo 18
Prüfung der Verkabelung «Gäbihubel» der Swissgrid 20
RIV-Messungen Cepagatti 22
Generator TE-Messung 24
Neue Messmittel 25
Erdschlussversuche in einem Netz mit Pol-Erdungsschalter 26
TE-Messungen an gekapselten Gleichspannungsschaltanlagen 28
TE-Messungen an Mittelspannungs-Steck-Endverschlüssen 30
FKH-Labor für Isolierölanalysen 32
Technische Dokumente für HS-Isolatoren, neu bei der FKH 33
FKH-Fachtagung 2019 «Erdungen» 34
Zusammenarbeit mit Hochschulen / Nachwuchsförderung 35
Teilnahme an Fachveranstaltungen, Referate, Publikationen 36
Mitgliedschaft / Mitarbeit in Fachgremien und Kommissionen 38
FKH-Mitglieder 39
Zufahrtspläne für die FKH-Standorte 42

Vorwort des Präsidenten und des Geschäftsleiters

Im sehr erfolgreichen vergangenen Jahr 2019 wurden die Prüfdienstleistungen, aber auch die Expertise der FKH, intensiv in Anspruch genommen. Mit über 180 elektrotechnischen Projekten wurde der Vorjahresumsatz um rund 10% übertroffen. Diese Zunahme wurde nicht zuletzt auch durch die gute Nachfrage für Isolierölanalysen ermöglicht. Die Anzahl untersuchter Isolierölproben hat letztes Jahr einen neuen Rekord erreicht.

Der FKH-Vorstand und die Geschäftsleitung danken allen Mitgliedern und Kunden für das grosse Interesse und das entgegengebrachte Vertrauen. Ein grosser Dank gebührt auch den erfahrenen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der FKH, welche das beachtliche Pensum an Prüfprojekten mit grosser Flexibilität bewältigt haben.

Seit vielen Jahren stellen die Serie-Resonanzprüfanlagen das wichtigste Standbein der FKH-Prüfaktivitäten dar. Die gute Transportierbarkeit bei hohen Prüfscheinleistungen, der weite Einsatzbereich bezüglich Prüf-Spannung und -Strom, sowie die Kombinierbarkeit mit Teilentladungsmessungen macht diese Prüfmethode zu einem unverzichtbaren Instrument für die Qualitätssicherung bei der Vor-Ort-Abnahme neuer Hochspannungsbetriebsmittel.

Die grössten Resonanz-Prüfaufgaben im vergangenen Jahr betrafen den Kabelabschnitt der 380-kV-Leitung Beznau–Birr der Swissgrid AG im Bereich «Gäbihübel» und die lange 110-kV-Kabelstrecke der EKW im Engadin von Pradella nach Zernez (32 km) und weiter nach La Punt (26 km).

Bei den Tests an Hochspannungsapparaten stand die Prüfung der neuen Netzkuppeltransformatoren-Gruppen 380 kV/220 kV in Laufenburg und Bassecourt im Vordergrund. Im Vergangenen Jahr wurden auch zahlreiche gasisolierten Schaltanlagen auf allen Spannungsebenen geprüft, wobei in den meisten Fällen zur Qualitätssicherung die UHF-Teilentladungsmessung angewendet wurde.

Die stationären Prüfanlagen in Däniken wurden im Jahr 2019 wieder einige Male für Tests an Freileitungs-Isolatoren und anderen Hochspannungs-Isolationen eingesetzt.

In diesem Jahresbericht sind einige der besonderen Prüf- und Messprojekte in Kurzbeiträgen der Mitarbeiter festgehalten. Es freut uns, wenn wir mit den kurzen Informationen bei Ihnen als Leser das Interesse für unsere Aktivitäten wecken können. Für Rückfragen stehen Ihnen unsere Mitarbeiter jederzeit zur Verfügung.

An den Prüfeinrichtungen der FKH wurden in allen Bereichen wieder Verbesserungen, Erneuerungen und Erweiterungen vorgenommen. Damit streben wir an, den wandelnden Ansprüchen der FKH-Mitglieder dauerhaft gerecht zu werden.

Wir freuen uns, wenn wir Sie auch in den kommenden Jahren durch unsere Dienstleistungen und unsere Beratungen bei der Qualitätssicherung der Hochspannungsbetriebsmittel, aber auch bei der Lösung anstehender Fragestellungen unterstützen können.

Foto: Catherine de Torquat

Christian Lindner
Präsident

Dr. Reinhold Bräunlich
Geschäftsleiter

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 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 Power AG
Vizepräsident	**Maurice Dierick (bis Mai 2019)** | Swissgrid AG **Adrian Häsler (ab September 2019)** | Swissgrid AG
Mitglieder	**Dr. Josep Aniceto** | Schweizerische Bundesbahnen **Dr. Reinhold Bräunlich** | Fachkommission für Hochspannungsfragen [1] **Yves-André Bagnoud** | Service Industriels Lausanne **Markus Burger** | Electrosuisse **Anja Burkhard (ab Mai 2019)** | ABB Schweiz AG **Andri Casura** | Elektrizitätswerk der Stadt Zürich **Andreas Degen** | Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen **Prof. Dr. Christian Franck** | Eidgenössische Technische Hochschule Zürich **Thomas Gränicher (bis Mai 2019)** | BKW Energie AG **Adrian Häsler (ab Mai 2019)** | Swissgrid AG **Michael Junghans** | Brugg Kabel AG **Prof. Dr. Farhad Rachidi** | Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne **François Regamey (bis Mai 2018)** | Service Industriels Lausanne **Prof. Dominique Rolle** | Ecole d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg **Daniel Riesen (ab Mai 2019)** | BKW Energie AG **Dr. Michael Walter** | GE Grid (Switzerland) GmbH **Martin Weibel** | Bouygues E&S EnerTrans AG **Daniel Zeidler (bis Mai 2019)** | ABB Schweiz AG
Kontrollstelle	**Oliver Junker** | Axpo Power AG **Aaron Durrer (ab Mai 2019)** | Elektrizitätswerk der Stadt Zürich

[1] *Mitglied mit beratender Stimme*

FKH-Geschäftsstelle

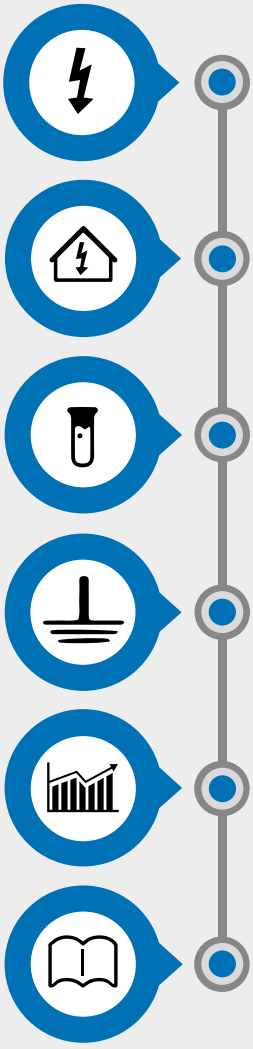
Leiter	**Dr. Reinhold Bräunlich,** dipl. El.-Ing. ETH	braeunlich@fkh.ch
Stellvertreter	**Günther Storf,** dipl. El.-Ing. ETH	storf@fkh.ch
Sekretariat	**Saskia Muraro**	muraro@fkh.ch
Mitarbeiter	**Dr. Thomas Brügger,** dipl. El.-Ing. ETH	bruegger@fkh.ch
	Dr. Vahe Der Houhanessian, dipl. El.-Ing. ETH	houhanessian@fkh.ch
	Pascal Fehlmann, El.-Ing. FH	fehlmann@fkh.ch
	Peter Frey, Chemielaborant	frey@fkh.ch
	Diego Friedli, M. Sc. Elektrotechnik FH	friedli@fkh.ch
	Mario Gobeli, El.-Ing. FH	gobeli@fkh.ch
	Dr. Thomas Heizmann, dipl. El.-Ing. ETH Leiter Labor für Isolierölanalysen	heizmann@fkh.ch
	Dominic Kleger, B. Sc. El.-Ing. FH	kleger@fkh.ch
	Adamo Mele, Elektromechaniker	mele@fkh.ch
	Simon Mutter, Energieelektroniker	mutter@fkh.ch
	Tobias Felber, Netzelektriker	felber@fkh.ch
	Dr. Stefan Neuhold, dipl. El.-Ing. ETH	neuhold@fkh.ch
	Franziska Schenker, Chemielaborantin	schenker@fkh.ch
	Markus von Arx, Elektromonteur	vonarx@fkh.ch
	Toni von Deschwanden, Elektromechaniker	deschwanden@fkh.ch
Betriebsstätten	**FKH-Geschäftsstelle** Hagenholzstrasse 81 8050 Zürich	Tel. 044 253 62 62 Fax 044 253 62 60
	FKH-Versuchsstation 4658 Däniken	Tel. 062 288 77 95 Fax 062 288 77 94
	FKH-Labor für Isolierölanalysen 4658 Däniken Notfallnummer Isolieröl- und Buchholzgasanalysen	Tel. 062 288 77 99 Fax 062 288 77 90 Tel. 062 288 77 99 oellabor@fkh.ch
Kontaktadresse für die Westschweiz	**Pascal Fehlman** Le Verney 10 1483 Montet (Broye)	Tel. 026 665 07 20 Natel 079 275 91 50 fehlmann@fkh.ch
Internet-Adresse	**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:



Prüfung von HS-Betriebsmitteln vor Ort

HS-Prüfungen an Apparaten und Betriebsmitteln mit Stoss- und Wechselspannung (Resonanzprüfungen), mit und ohne Diagnosemethoden.

- Transformatoren und andere Apparate
- rotierende Maschinen
- GIS
- Kabel

HS-Prüfungen im Kleinlabor

Hoch- und Mittelspannungskomponenten

Isolierölanalysen

Dielektrisch-chemische Analysen
Chromatographische und spektroskopische Analysen

- Zersetzungsgasanalysen
- Furananalysen
- FTIR-Spektralanalysen

Erdungs-, Umwelt- und Netzfragen

Erdungsmessungen/Berechnungen
EMF-/EMV-Messungen und Berechnungen
Schall- und Vibrationsmessungen
Netzqualitäts- und Netztransientenmessungen

Engineering

Engineering, Beratung und Expertisen
Schadensanalysen
Blitzschutzfragen

Weiterbildung

Fachtagungen, Schulungen

Auftragsarbeiten und statistische Übersicht

Neben diversen Entwicklungsprojekten und der Behandlung aktueller Fragestellungen der FKH-Mitglieder wurden im Berichtsjahr 2019 insgesamt 181 Auftragsarbeiten und 163 Isolierölanalysen für FKH-Mitglieder und Dritte ausgeführt, mit welchen ein Umsatz gemäss Tabelle 1 bzw. Abbildung 1 erzielt wurde.

Erlös aus Auftragsarbeiten für FKH-Mitglieder*	CHF	3'405'317	(2'896'488)
Erlös aus Auftragsarbeiten für Nichtmitglieder	CHF	697'475	(780'112)
Forschungs- und Entwicklungsarbeiten	CHF	–	(10'084)
Total gemäss FKH-Erfolgsrechnung 2019	**CHF**	**4'102'792**	**(3'686'684)**

Tabelle 1: Erlös aus Auftragsarbeiten (Vorjahr in Klammern)

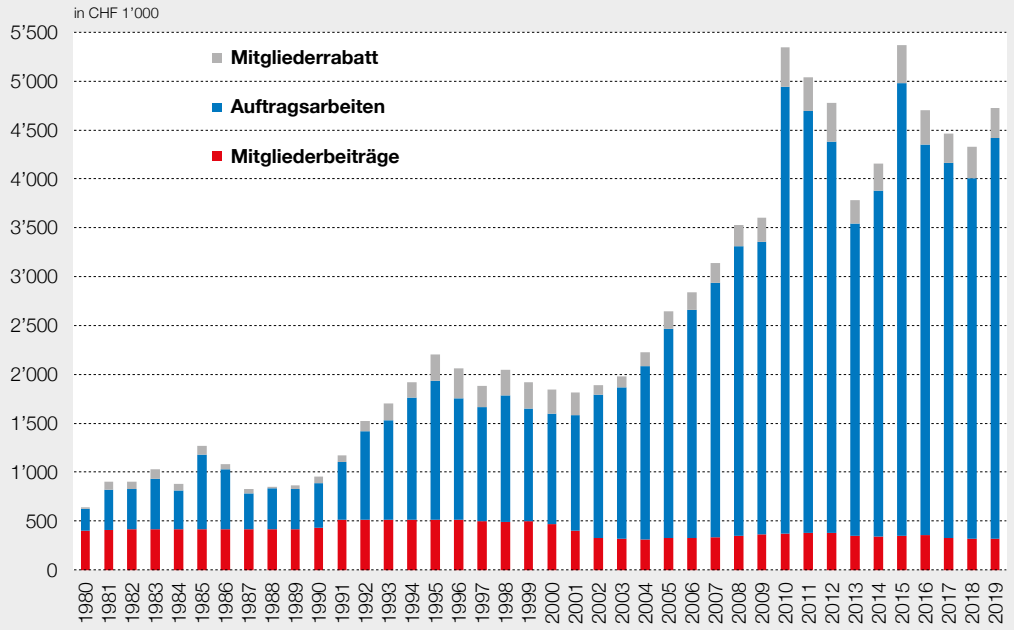


Abbildung 1: Erlös aus Auftragsarbeiten und Mitgliederbeiträgen im Zeitraum von 1980–2019

** Nettoerlös, 10% Mitgliederrabatt abgezogen.*

Die Auftragstätigkeit der FKH-Arbeitsgruppe für Mitglieder und Dritte im Berichtsjahr 2019 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	36%	(27%)
Prüfung von Transformatoren	10%	(11%)
Prüfung von Hochspannungsapparaten und Generatoren	5%	–
Prüfung von GIS und Schaltanlagen	19%	(23%)
Erdungsmessungen / Nachweis von Blitzschutzmassnahmen	6%	(11%)
Typenprüfungen / Spezialversuche	4%	(5%)
Umweltfragen / EMF / Korona / EMV / Transiente Vorgänge	0%	(0%)
Beratungs- und Betreuungsaufgaben	2%	(2%)
Isolierölanalysen	18%	(21%)
Forschungs- und Entwicklungsarbeiten	0%	(0%)

Tabelle 2: Prozentuale Verteilung der Auftragsarbeiten im Jahr 2019 nach Dienstleistungssparten aufgeschlüsselt (Vorjahr in Klammern)

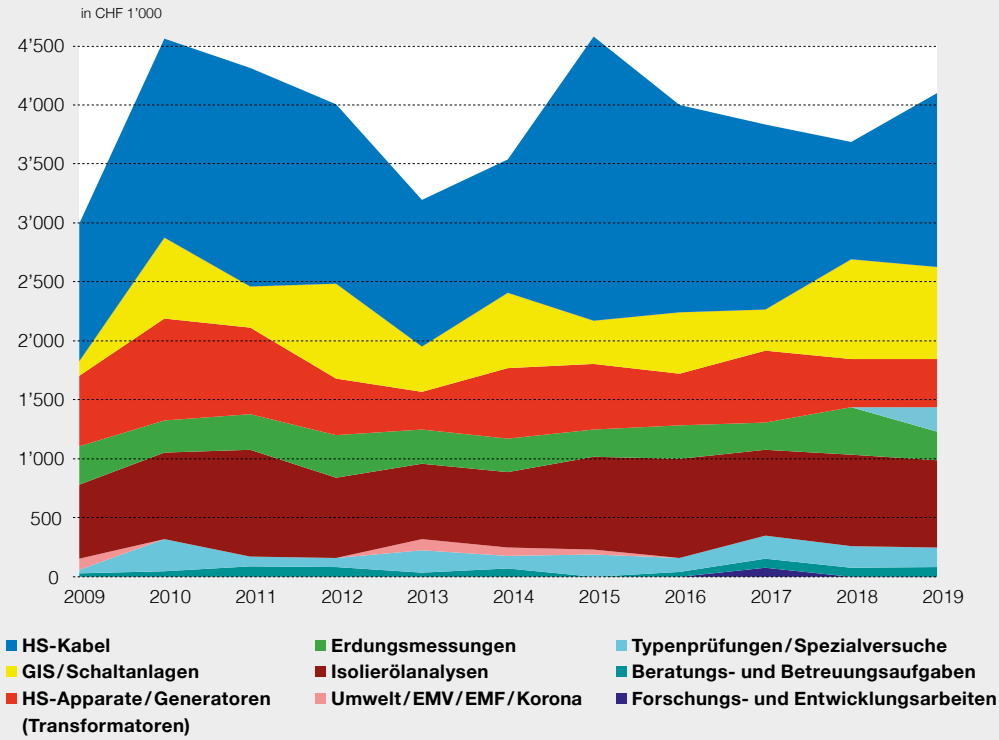


Abbildung 2: Entwicklung des Erlöses aus Auftragsarbeiten nach einzelnen Dienstleistungssparten (in CHF 1'000) über den Zeitraum von 2009–2019

Kabelprüfung der 110-kV-Kabelleitung Pradella–Zernez

Auf dem Gebiet der Engadiner Kraftwerke (EKW) im Unterengadin wurden mehrere Leitungen auf allen Spannungsebenen erneuert und ausgebaut. Im Zuge der geplanten Spannungserhöhung der 220-kV-Leitung der Swissgrid AG zwischen den Kraftwerken Pradella und Ova Spin auf 380 kV, wurde die Talversorgungsleitung von der Betriebsspannung 50 kV auf 110 kV erhöht und neu als Kabelleitung verlegt. Ebenfalls wurden viele Mittelspannungsleitungen verkabelt.
Im Berichtsjahr hat die FKH alle neuen 110-kV-Kabelstrecken geprüft, wobei die Leitung zwischen den Unterwerken Pradella und Zernez den längsten Kabelabschnitt darstellt:

Kabeldaten	XDRCU-ALT 1 x 800AL mm², 11/64 kV Brugg
Trasseelänge	31’865 m
Querschnitt	800 mm² Aluminium
Garnituren	3 x 2 Kabelstecker 2 x 34 Muffen (Durchgangs- und Crossbonding-Muffen)

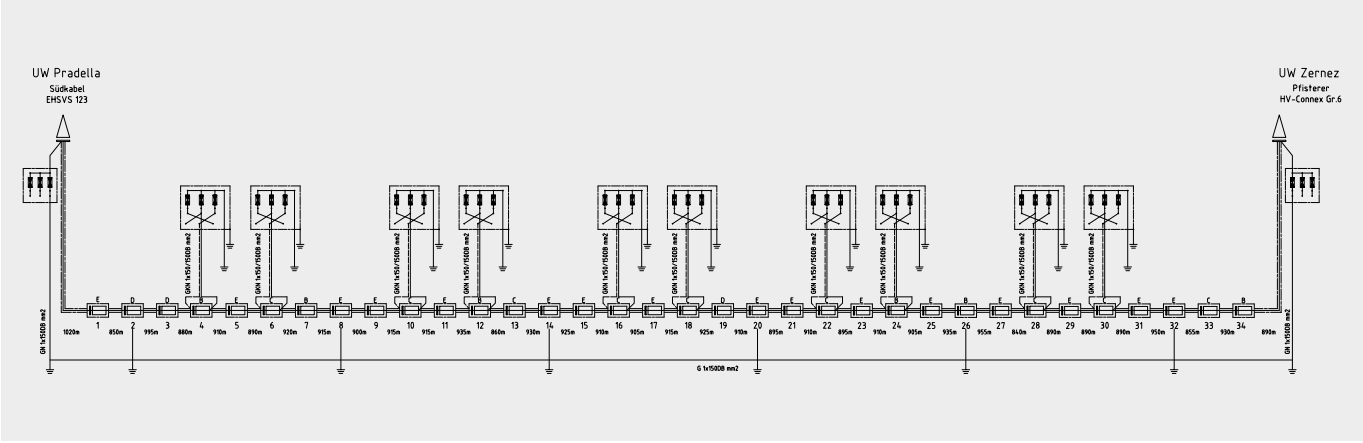


Abbildung 1: Ausschnitt aus dem Leitungsplan (Brugg, EKW, Axpo)

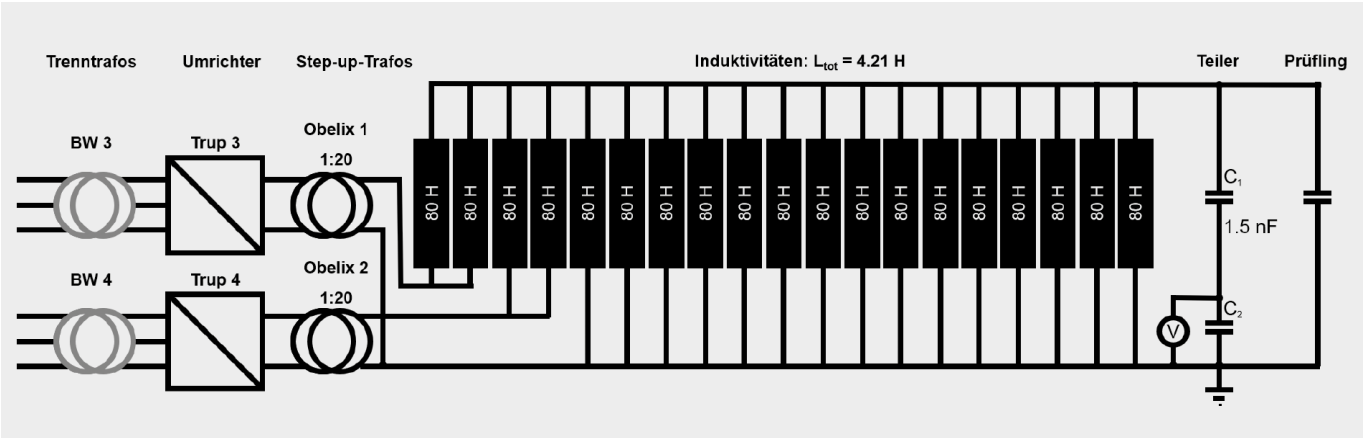


Abbildung 2: Schema der Resonanzprüfung der Kabelleitung Pradella–Zernez der EKW

Die Kabelstrecke ist in fünf Crossbonding-Abschnitte unterteilt, wobei der letzte Abschnitt auf beiden Seiten mit einseitiger Mantelerdung ausgeführt wurde. Parallel zur ganzen Strecke wurde ein Erdleiter (150 mm^2) verlegt.

Nach Fertigstellung der Kabelanlage wurde die Hochspannungsprüfung durch die FKH ausgeführt, wobei der gesamte Drosselpark (19 Drosseln à 80 H) zum Einsatz kam und nach Zernez transportiert wurde.

Es ergaben sich folgende Prüfparameter:

Prüfspannung	140 kV (2,2 U_0)
Prüfdauer	15 Minuten
Kapazität einer Phase	7'268 nF
Prüffrequenz	28,8 Hz
Prüfstrom bei 140 kV	184,1 A
Scheinleistung	25,8 MVA

Da die Kabelleitung an beiden Enden in eine gasisolierte Schaltanlage (GIS) eingeführt wurde, musste für den Anschluss der Prüfanlage ein passender Kabeladapter aufgestellt werden (Abbildung 3).

Die Herausforderung war die Bereitstellung der hohen Prüfscheinleistung für die Kapazität des über 31 km langen Kabels. Erstmals wurde die Güte des Resonanzkreises nicht nur durch die Kupferverluste in den Drosseln der Prüfanlage begrenzt, sondern auch durch die Verluste in den verschalteten Kabelschirmen des Prüflings. Statt einer erwarteten Güte von 111 wurde nur eine Güte von etwa 89 erreicht, was zur Folge hatte, dass der Netzanschluss (3 x 380 V) der Eigenbedarfsanlage in Zernez mit 400 A zu leistungsschwach war. Mit einem zusätzlichen Notstromaggregat (zusammen 760 A bei 3 x 380 V) konnte die Prüfung schliesslich erfolgreich durchgeführt werden.

Abbildung 3: Drosseln der Prüfanlage und Freiluftendverschluss des Adapterkabels im UW Zernez

AUTOR

Günther Storf
Dipl. El.-Ing. ETH
Stv. Geschäftsführer
Projektingenieur

Prüfung eines Erregertransformators

Die FKH erhielt im vergangenen Jahr den Auftrag, den Erregertransformator eines Pumpspeicherwerks auf Teilentladungen hin zu prüfen. Der untersuchte Transformator wird im Betrieb von einem Frequenz-Umrichter gespeist und ist demzufolge dauernd mit hochfrequenten Spannungsimpulsen im kHz-Bereich belastet. Ziel der Messung war eine Bestandsaufnahme des Zustands der Isolation vor Ablauf der 5-jährigen Garantiezeit.

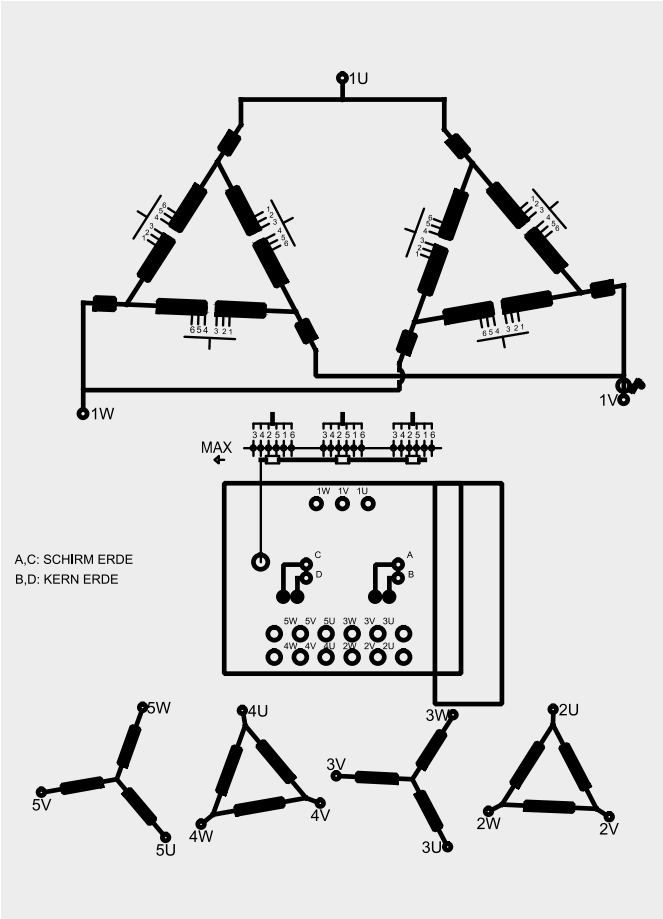


Abbildung 1: Wicklungsanordnungen

Beim Prüfling handelte es sich um einen 28-MVA-Öltransformator mit zwei Spannungsebenen. 28 kV für die Oberspannung und 3,05 kV für die Unterspannung. Speziell an der Konstruktion ist, dass die OS-Wicklungen aus zwei parallel verschalteten Wicklungen bestehen und das Unterspannungssystem mit vier Wicklungen mit verschiedenen Schaltgruppen ausgeführt ist (Abbildung 1).

Die Prüfspannung vor Ort wurde auf den üblichen Wert für Vor-Ort-Prüfungen an Netztransformatoren auf 1.2 U_n (21,6 kV_{Ph-Ph} ≡ 12,5 $kV_{Ph-Erde}$) für eine Dauer von 60 Minuten gesetzt. Eine Spannungsaufzeichnung des Betreibers über ein Jahr zeigte, dass sich die Betriebsspannung zwischen 17 kV_{Ph-Ph} und 19 kV_{Ph-Ph} bewegte. Nur bei einzelnen Betriebsereignissen wurden Spannungen bis ca. 20,2 kV_{Ph-Ph} registriert. Somit war die Prüfspannung höher als die maximalen in Betrieb auftretenden Spannungen.

Die Erregung erfolgte dreiphasig über die Oberspannung mit einem Frequenz-Umrichter.

Die Auskopplung der TE-Messung erfolgte an allen insgesamt 15 Durchführungen mit Hilfe von Koppel-Kondensatoren. In den Abbildungen 3 und 4 sind die verschiedenen Kondensatoren zu sehen. Auf der OS wurden Folien-Kondensatoren verwendet und Keramik-Kondensatoren auf der US.

Obwohl weitere Maschinen-Gruppen im Kraftwerk in Betrieb standen, konnte die TE-Messung an allen Anschlüssen mit einer Empfindlichkeit kleiner 10 pC durchgeführt werden.

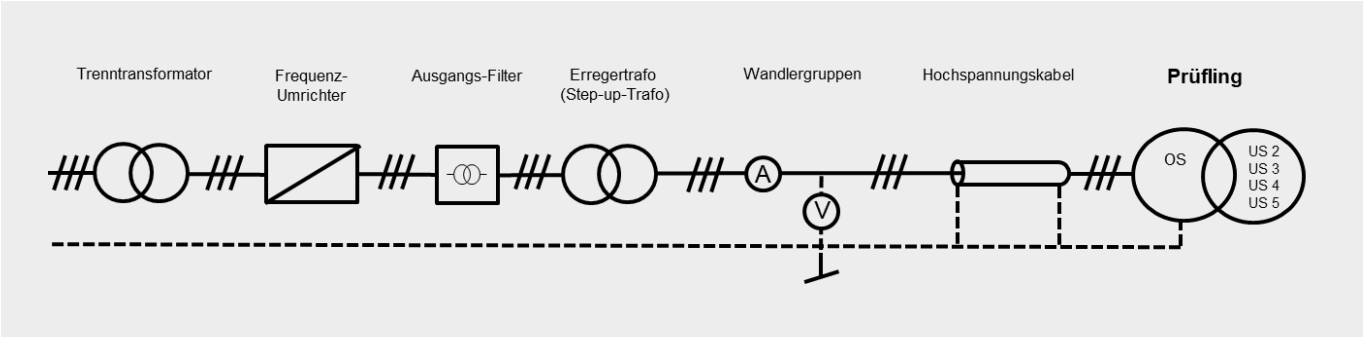


Abbildung 2: Schema der Prüfschaltung

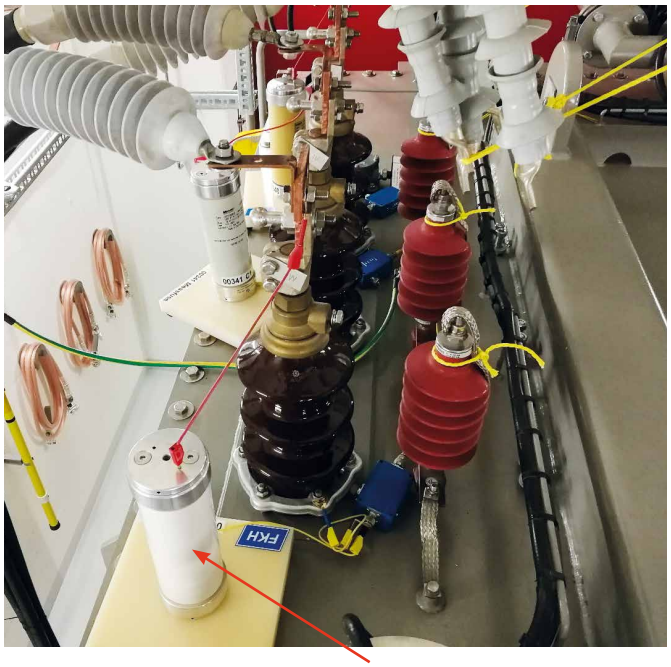


Abbildung 3: TE-Ankopplung über Folien-Kondensatoren

Abbildung 4: TE-Ankopplung über Keramik-Kondensatoren

AUTOR

Pascal Fehlmann
Dipl. El.-Ing. FH
Projektingenieur

Spannungsprüfung sowie Vogelschutztest an isolationsverstärkten Stromschleifen für Trag-Abspannketten an Masten mit geringen Auslegerabständen

In Rahmen der Spannungsumstellung des Axpo-Verteilnetzes von 50 kV auf 110 kV ergeben sich bei Weiterbenutzung der existierenden Masten wesentliche Kosten- und Verfahrensvorteile. Bei den bestehenden Masten der 50-kV-Freileitungen reichen allerdings die Abstände zwischen den Auslegern für die Einhaltung der Luftisolationsstrecken für 110-kV-Tragisolatoren nicht aus. Die Axpo hat deshalb eine kompakte Trag-Abspannkette mit isolierter Stromschleife entwickelt. Die FKH wurde von Axpo Power AG beauftragt, an verschiedenen Geometrien Haltespannungsprüfungen sowie einen Vogelschutztest durchzuführen.

Mit diesen Prüfungen wurden folgende Aspekte untersucht:

1. Festlegung der Abstände zwischen den Lichtbogenarmaturen (Gabelringen) an den Y-förmig angeordneten Abspannisolatoren, sodass kein Überschlag auf die, oder entlang der isolierten Schlaufe auftritt (Nachweis der Koordination der Isolation).
2. Überprüfung, ob die Resultate unter 1. auch beim Einsatz von Kunststoffisolatoren gelten. Untersuchung allfälliger Unterschiede.
3. Abklärung, ob eine Lebensgefährdung von grossen Vögeln besteht, die sich auf die Ausleger unterhalb der Verbindungsschlaufen setzen. Insbesondere sollte beantwortet werden, ob diese bei Berührung der isolierten Schlaufe einen Erdschluss auslösen, oder ob die Vögel lebensgefährlich elektrisiert werden können.

Diese Untersuchungen wurden in mehreren Messkampagnen von 2017 bis 2019 in der Versuchsstation der FKH in Däniken realisiert.

Folgende Spannungsprüfungen wurden nach IEC 60060-1 durchgeführt.

1) Blitzstossspannungsprüfung (1,2/50 µs) 450 kV und 550 kV, (gemäss IEC 60060-1, Abschnitt 7.3.1.1, Methode A), siehe Abbildung 1.
2) Wechselspannungsprüfung trocken und nass, Regenrate 1–2 mm/Minute (gemäss IEC 60060-1, Tabelle 2) 185 kV und 230 kV je 1 Minute, siehe Abbildung 2.

Abbildung 1: Mobiler 800-kV-Stossgenerator der FKH

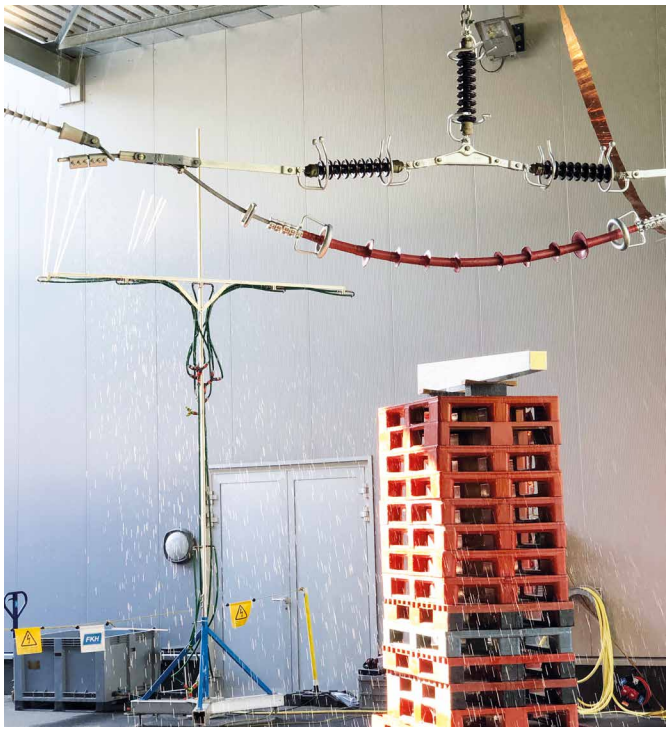


Abbildung 2: Künstliche Beregnung mit kontrollierten Parameter (Menge, Richtung und Wasserleitfähigkeit) während der AC-Spannungsprüfung

Am Schluss der Untersuchungen haben die optimalen Geometrievarianten die Spannungsprüfungen (Blitzstossspannung ±450 kV und ±550 kV, Wechselspannungsprüfungen 185 kV und 230 kV (trocken und nass)) und Nachweis der Koordination der Isolation (Überschläge nur an den oberen Isolatoren, siehe Abbildungen 3 und 4) bestanden.

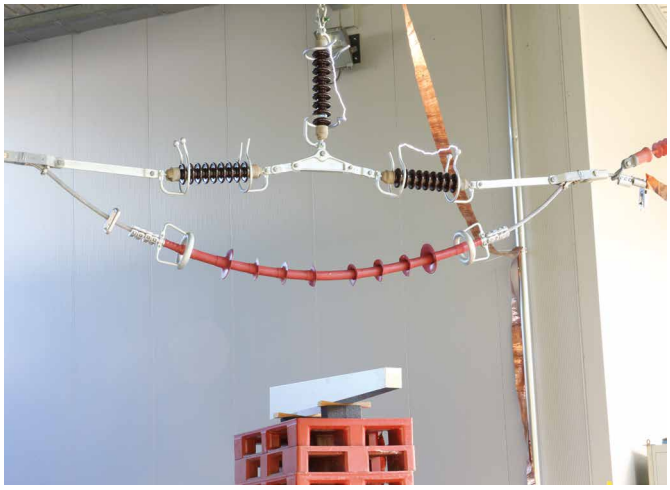


Abbildung 3: Nachweis der Koordination der Isolation (Überschläge nur an den oberen Isolatoren)

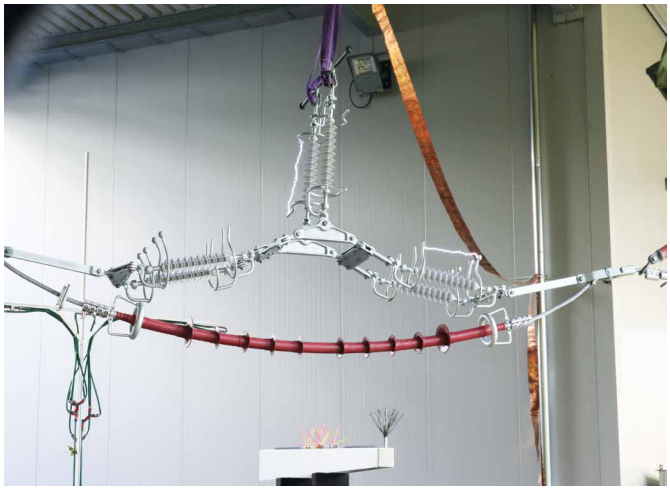


Abbildung 4: Nachweis der Koordination der Isolation an einer weiteren Anordnung (Überschläge nur an den oberen Isolatoren)

Bei dem Vogelschutztest wurde der Körperwiderstand eines Vogels mit einem Wasserwiderstand von einigen kΩ simuliert. Auf die Spitze des Wasserwiderstandes wurde eine Metallkugel gesetzt, siehe Abbildung 5 und Abbildung 6: sichtbar gemachte Teilentladungen mit UV-Kamera aufgenommen. Der Test wurde mit einem Abstand von 5 und 0 cm (Berührung) zwischen Metallkugel und isolierter Schleife durchgeführt. Der Zeitablauf der einzelnen Stromimpulse durch den Wasserwiderstand wurde hochaufgelöst registriert. Die Ladung dieser Stromimpulse wurde später mit Literaturangaben verglichen.

Aus den Ergebnissen des Vogelschutztests wird gefolgert:

1. Es kann angenommen werden, dass Vögel, die zwischen die isolierte Schlaufe und den Ausleger geraten, verscheucht werden, aber dadurch keinen Schaden nehmen.
2. Aus dem Vergleich mit der Wahrnehmungsschwelle für Ströme beim Menschen, ist anzunehmen, dass die an der Isolierung auftretenden Teilentladungs-Stromimpulse, die ein Grossvogel bei Berührung der isolierten Schlaufe erfährt, oberhalb der Wahrnehmungsschwelle, aber weit unterhalb der als lebensgefährlich angesehenen Werte liegen.

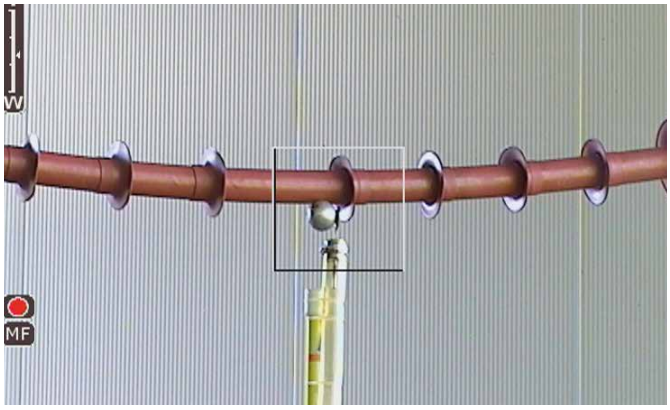


Abbildung 5: Vogelschutztest, Simulation des Körperwiderstands eines Vogels mit einem Wasserwiderstand

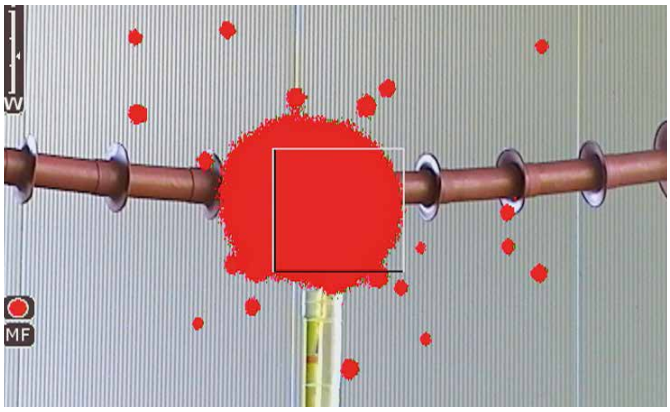


Abbildung 6: Visualisierung der Entladungen mit einer UW-Kamera bei angelegter Spannung von 71 kV (1,1 x 110 kV /√3)

AUTOR

Vahe Der Houhanessian
Dr. sc. techn. ETH
Projektingenieur

DC-Strommessungen Luino und Lavorgo

Zur Verstärkung der Bahnstromversorgung auf der Luino-Linie zwischen Giubiasco und Luino haben die SBB erstmals ein Autotransformator-System (AT) mit zwei gegenphasigen 15-kV-Speiseleitungen (±15 kV) errichtet.[1] Längs der Strecke wurden in Contone, Ranzo-Sant'Abbondio und Luino mobile Autotransformatoren (ATmob) aufgestellt (Abbildung 1).

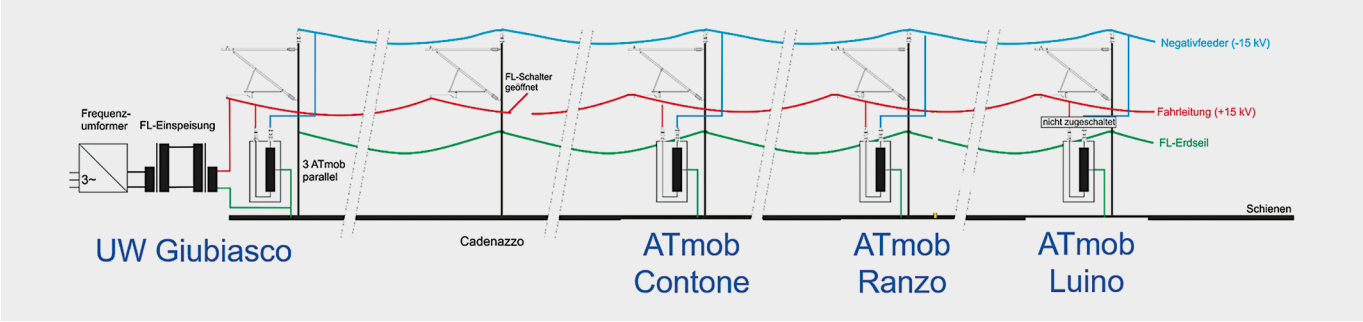


Abbildung 1: Autotransformator-System Luino-Linie

In Luino befindet sich auch die Systemtrennstelle zwischen den Traktionsstromsystemen der Schweiz (15 kV / 16,7 Hz) und Italiens (3-kV-Gleichspannung).

Im Rahmen der Inbetriebnahme des letzten mobilen Autotransformators (ATmob) in Luino im Jahr 2019 hat die FKH untersucht, ob in den Wicklungen der Autotransformatoren DC-Streuströme aus dem italienischen DC-Bahnsystem fliessen und Kernsättigungsprobleme bewirken (höhere Geräuschemissionen, erhöhte thermische Belastung usw.).

Zeitgleich wurden im UW Lavorgo der Swissgrid DC-Ströme in den Hauptwicklungen des 380/220-kV-Netzkuppeltransformators gemessen, da sich DC-Streuströme über geerdete Sternpunkte von Leistungstransformatoren über Übertragungsleitungen auch über grössere Distanzen ausbreiten können.

In den Schienen und Rückleiterseilen der SBB-Strecke nördlich der Systemtrennstelle in Luino wurden DC-Streuströme des italienischen DC-Bahnsystems im Bereich von 100-200 A gemessen. Bei einem DC-Strom von 100 A in Schiene und Rückleiterseilen flossen ca. 20 A im ATmob-Mittelpunkt in Luino (Abbildung 2). Zwischen den DC-Strömen im ATmob und den Vibrationen des ATmob-Kessels wurde eine deutliche Korrelation fesgestellt (Abbildung 2).

Ebenfalls konnte ein klarer Zusammenhang zwischen den in Luino fliessenden DC-Streuströmen und den DC-Sternpunktströmen im 380/220-kV-Netzkuppeltrafo im UW Lavorgo nachgewiesen werden (Abbildung 3).

Eine weitere Quelle für Gleichströme in elektrischen Netzen ist in geomagnetischen Aktivitäten zu finden. Sonnenstürme, die auf die Erde treffen, verursachen Schwankungen des Erdmagnetfeldes. Diese Schwankungen induzieren elektrische Felder auf der Erdoberfläche. Dadurch können geomagnetisch induzierte Ströme (geomagnetically induced currents, GIC) mit sehr niedrigen Frequenzen im Bereich von Millihertz (quasi Gleichstrom) durch niederohmig geerdete Transformator-Sternpunkte geleitet werden.

Der Vergleich von Messdaten einer Erdmagnetfeld-Messstation im Schwarzwald mit den Trafo-Sternpunktströmen in Lavorgo ergab deutliche Hinweise auf GIC-bedingte Anteile des DC-Stromes (Abbildung 4).

[1] *M. Aeberhard, F. Leu: Das Autotransformatorsystem für die Strecke Giubiasco–Cadenazzo–Luino, Eisenbahnrevue, 6/2014, Seite 292.*

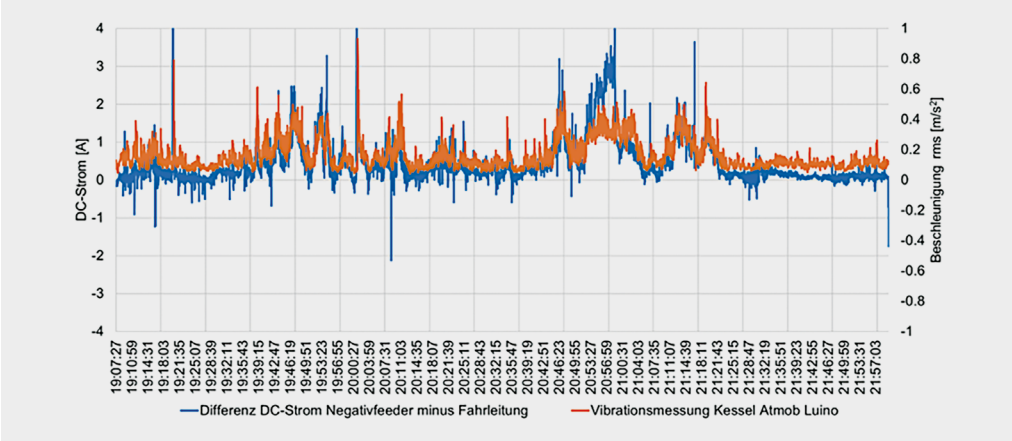


Abbildung 2: Vergleich DC-Strom ATmob Luino vs. Kesselvibrationen

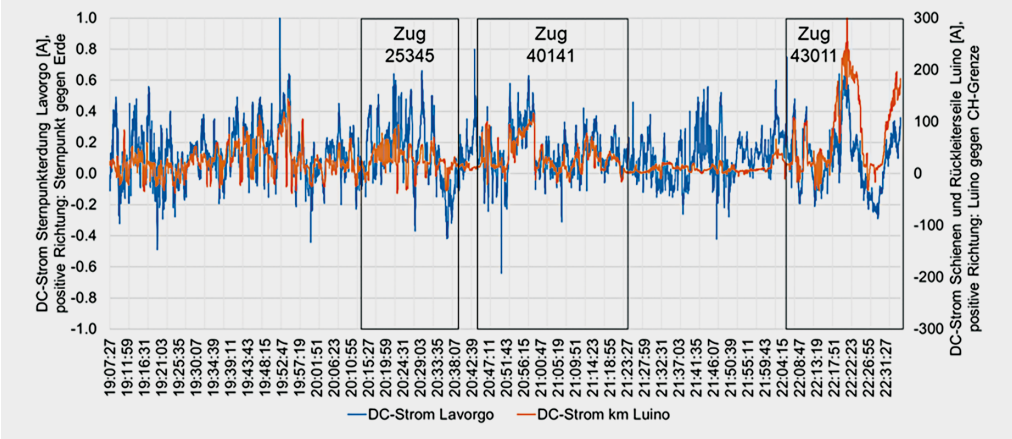


Abbildung 3: Vergleich DC-Ströme Sternpunkt Lavorgo mit DC-Strömen bei Luino

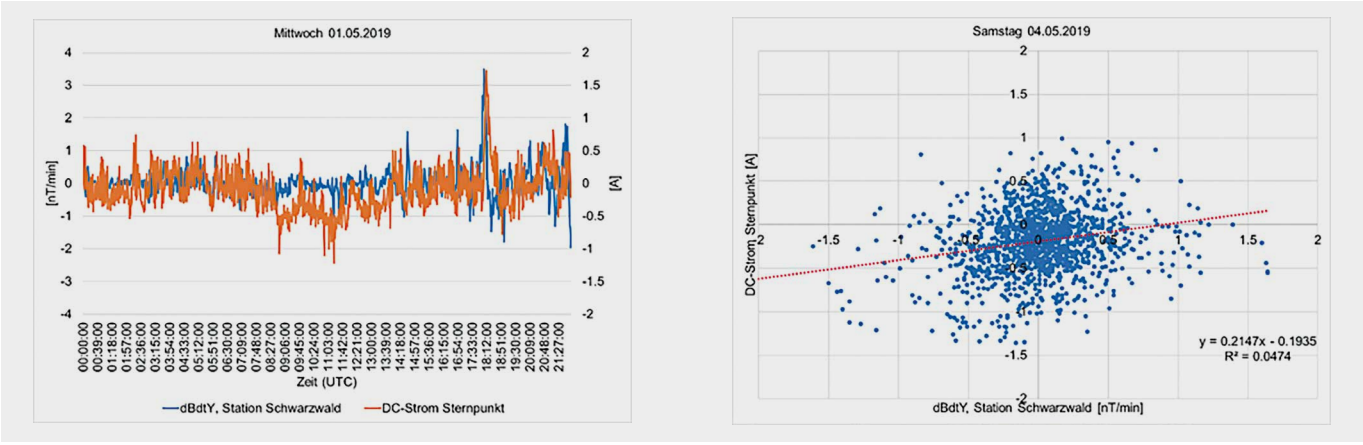


Abbildung 4: Einfluss von GIC auf den Sternpunktstrom Lavorgo

AUTOR

Thomas Brügger
Dr. sc. ETH
Projektingenieur

Prüfung der Verkabelung «Gäbihubel» der Swissgrid

Die Swissgrid AG hat zwischen Beznau und Birr ein System der bestehenden 220-kV-Leitung auf die höhere Betriebsspannung 380 kV ausgebaut. In diesem Zusammenhang wurde bei Riniken auf einer 1,45 km langen Strecke die 380-/220-kV-Doppelleitung am «Gäbihübel» bei Bözberg/Riniken teilverkabelt. Für jeden Strang wurden pro Phase zwei Kabel installiert, welche notfalls auch einzeln betrieben werden könnten.

Kabeldaten 380 kV	XDRCU-ALT 1 x 2500ALDB mm² LWL 380/220 kV Brugg
Kabeldaten 220 kV	XDRCU-ALT 1 x 2500ALDB mm² LWL 220/127 kV Brugg
Trasseelänge	1'450 m
Querschnitt	2500 mm² Aluminium
Garnituren	3 x 2 x 2 Kabelstecker pro System

Abbildung 1: Situation und Phasenschema der 380-/220-kV-Leitung Gäbihubel (Swissgrid, Axpo)

Alle Kabel konnten auf der gesamten Länge am Stück eingezogen werden, sodass keine Muffen notwendig waren. Die FKH setzte ihre Resonanzanlage mit 15 Stück der 80-H-Drosseln (3 in serie, 5 parallel) ein. Für die Prüfung der 380-kV-Kabel mussten zwei Umrichter in Parallelschaltung betrieben werden.

Für die Prüfung galten folgende Parameter:

	380-kV-Kabelsystem	220-kV-Kabelsystem
Prüfspannung	400 kV (1,8 U_0)	254 kV (2,0 U_0)
Prüfdauer	15 Minuten	15 Minuten
Kapazität einer Phase	694 nF	675 nF
Prüffrequenz	28,0 Hz	26,9 Hz
Prüfstrom	44,0 A	29,0 A
Scheinleistung	17,6 MVA	7,4 MVA

Während der Spannungsprüfung wurden Teilentladungsmessungen durchgeführt, wobei gleichzeitig an allen Garnituren ausgekoppelt wurde. Dies erforderte einen koronafreien Prüfaufbau mit Abschirmtoroiden und grossen Verbindungsrohren.

Abbildung 2: Übergangsbauwerk Süd der Verkabelung «Gäbihubel» mit Prüfanlage.

Nach der Prüfkampagne, welche weniger als zwei Wochen dauerte, konnten alle Kabel in einwandfreiem Zustand der Swissgrid übergeben werden.

Am 6. September 2019 wurde das Netzprojekt Beznau – Birr der Branche vorgestellt und auch ein Besucherzentrum der Swissgrid AG für die Öffentlichkeit eingeweiht. Dieses erklärt interessierten Personen aus der Umgebung mit eindrücklichen Präsentationen die technischen Einzelheiten des Pionierprojekts.

Abbildung 3: Besucherzentrum der Swissgrid AG mit einer Ausstellung über das 380-/220-kV-Kabelprojekt «Gäbihübel».

AUTOR

Günther Storf
Dipl. El.-Ing. ETH
Stv. Geschäftsführer
Projektingenieur

RIV-Messungen Cepagatti

Im Zuge der Inbetriebnahme der HGÜ-Seekabel-Verbindung (±500 kV, LCC, siehe Abbildung 1) zwischen Cepagatti (Italien) und Kotor (Montenegro), wurde die FKH beauftragt, EMV-Messungen in der Umgebung der Konverterstation in Cepagatti durchzuführen.

Abbildung 1: HGÜ-Seekabel-Verbindung Italien–Montenegro

An verschiedenen Messpositionen rund um die Ventilhallen (Abbildung 2, links) wurden die elektromagnetischen Störaussendungen im Frequenzbereich zwischen 9 kHz und 1 GHz nach der Norm CISPR 16-1 gemessen. Für die Messungen wurde ein Störspannungsmessempfänger verwendet, der die Frequenzspektren durch Fast-Fourier-Transformation aus gemessenen Zeitsignalen bildet und damit sehr kurze Messdauern ermöglicht. Im unteren Frequenzbereich von 9–30 MHz wurde eine Loop-Antenne eingesetzt (Abbildung 2, rechts), im oberen Frequenzbereich von 30–1000 MHz eine Dipol-Antenne.

Der grösste Einfluss der Konverterstation wurde mit Quasi-Peak-Werten von ca. 40–80 dBµV im Frequenzbereich von ca. 500 kHz bis 20 MHz festgestellt (Abbildung 3). Im höheren Frequenzbereich zwischen 30 MHz und 1 GHz überwiegten die anlagenfremden Hintergrundemissionen (z.B. Mobilfunk).

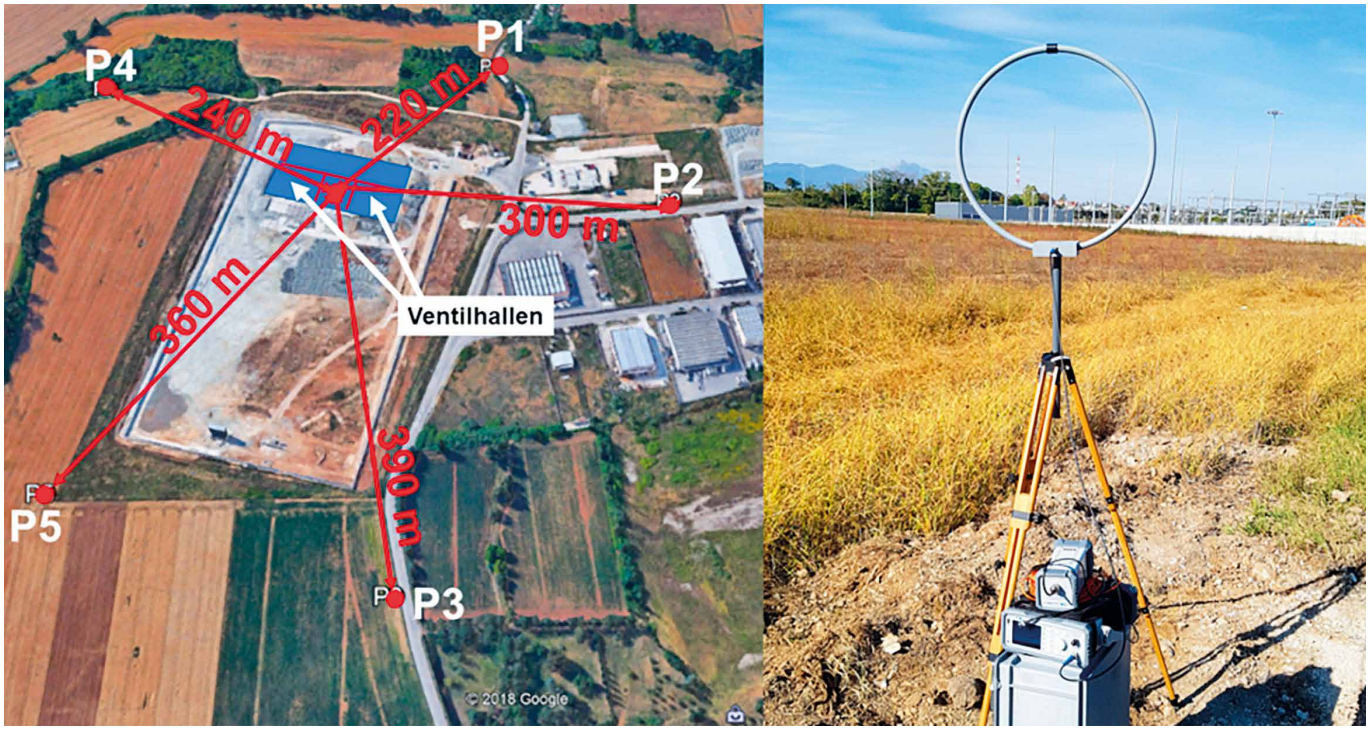


Abbildung 2: Messpositionen in Cepagatti (links), Loop-Antenne für magnetische Felder

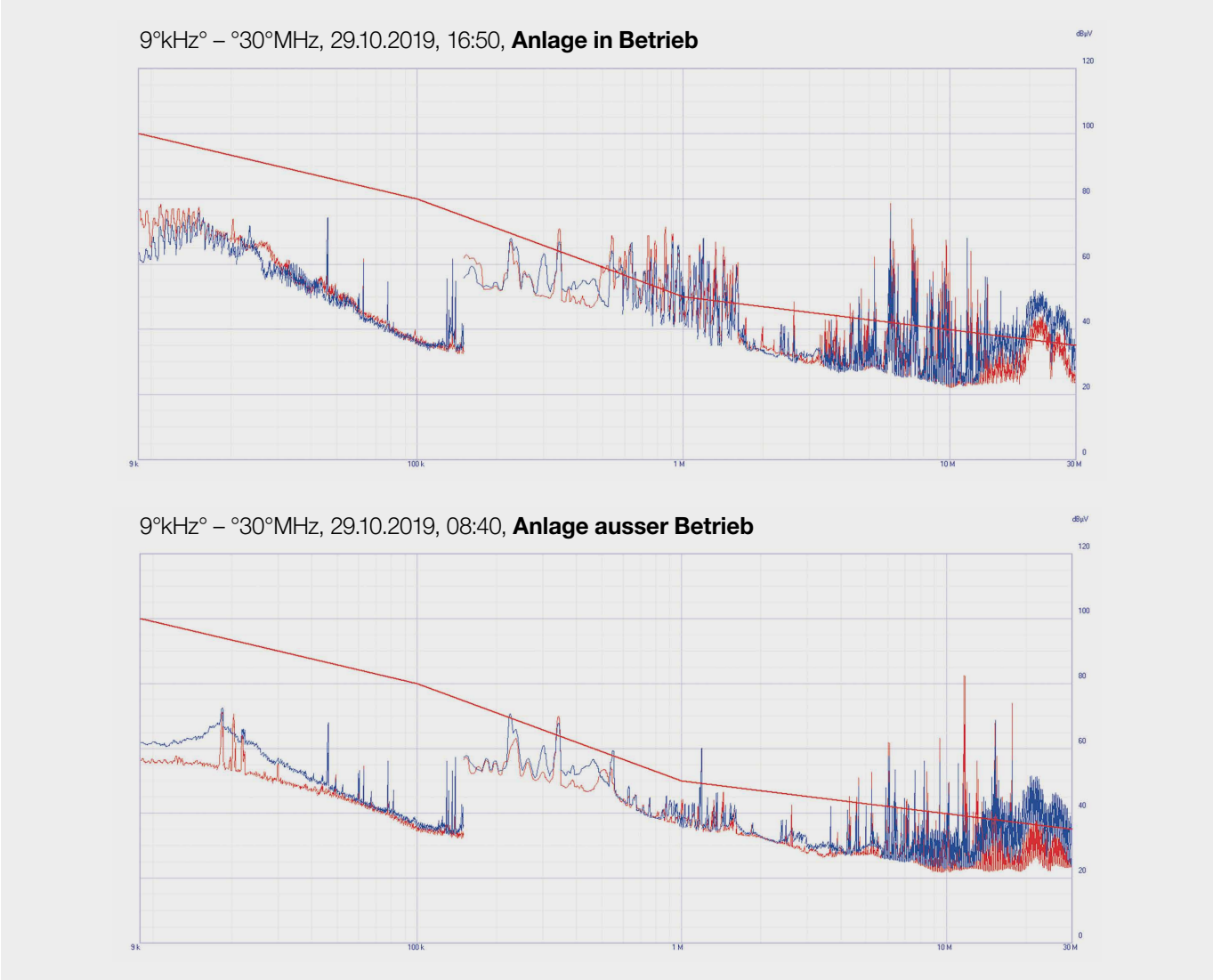


Abbildung 3: Vergleich Störspannungsspektra 9–30 MHz, Konverterstation in/ausser Betrieb (oben/unten)

AUTOR

Thomas Brügger
Dr. sc. ETH
Projektingenieur

Generator TE-Messung

Die FKH hat bei der Inbetriebnahme des neuen 36-MVA-Generators in der Kehrrichtverbrennungsanlage Perlen die Fingerprint-Messungen (TE und C-tanδ) ausgeführt. Zusätzlich wurde an den eingebauten Koppelkondensatoren das Online-TE-Messsystem kalibriert. Dazu wurden Ankoppel-vierpole an den koaxialen Abgriffen der Koppelkondensatoren aussen am Generator angeschlossen (Abbildung 1). Mit einem TE-Kalibrator wurden dann Eichimpulse mit definierter Ladung auf die Wicklungsklemmen eingespeist und so die optimalen Mess-Einstellungen für die spätere Online-Messung bestimmt.

Abbildung 1: Online-TE-Messung an Generator

Nach der Inbetriebnahme wurde eine erste Online-TE-Messung durchgeführt (Abbildung 2), die als Referenz für spätere Messungen dient.

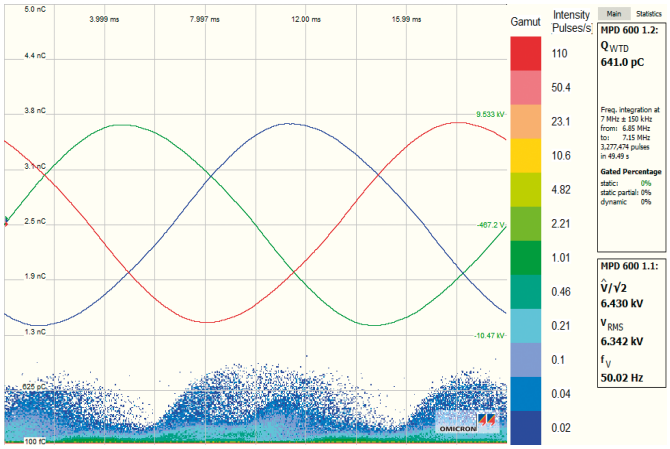


Abbildung 2: TE-Muster der Online-Messung

AUTOR

Thomas Brügger
Dr. sc. ETH
Projektingenieur

Neue Messmittel

Im Jahr 2019 wurden folgende neuen Prüf- und Messmittel beschafft:

- Störspannungsmesssystem für leitungsgebundene und abgestrahlte Störspannungen im Frequenzbereich 10 Hz bis 3 GHz
- Störspannungsempfänger Narda PMM 9010F mit Frequenzerweiterung bis 3 GHz PMM 9030
- Diverse Antennen für den Frequenzbereich von 9 kHz bis 3 GHz
- Universelle Frequenzumrichter-Steuerung (Hard- und Software) für Erdungsmessungen und Resonanzprüfungen
- Standardteiler für DC (160 kV), AC (120 kV) und Stoss (250 kV), HILO HVT 160 RCR
- Resonanzdrossel für Mittelspannungsprüfungen: Nennspannung 60 kV, Induktivität 40, 3.1 A / 15 Minuten
- Erweiterung der UHF-Teilentladungsmesssysteme um 16 Kanäle

Abbildung 1: Störspannungsmessempfänger mit Loop-Antenne für den Frequenzbereich 9 kHz bis 30 MHz

Abbildung 2: Logarithmisch-periodische Antenne für den Frequenzbereich 200 MHz bis 3 GHz

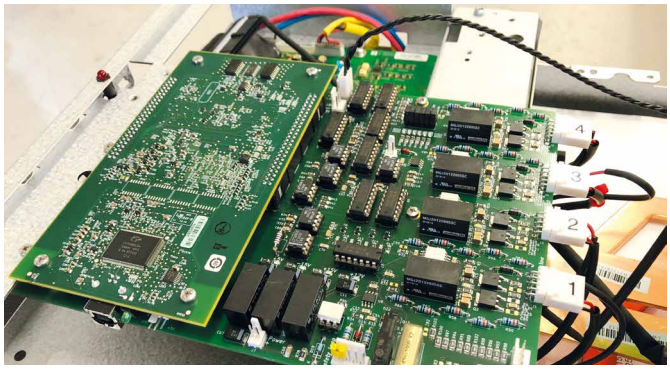


Abbildung 3: Frequenzumrichter-Steuerung, Ingenieurbüro Dr. Alff

Abbildung 4: UHF-Messracks mit TE-Analysegeräten

Abbildung 5 (links): Universalteiler HILO HVT 160 RCR

Abbildung 6 (rechts): Resonanzdrossel für Mittelspannungsprüfungen, Nennspannung 60 kV

AUTOR

Reinhold Bräunlich
Dr. sc. techn. ETH
Geschäftsführer

Erdschlussversuche in einem Netz mit Pol-Erdungsschalter

In einem isolierten Mittelspannungsnetz kann das Schadensausmass bei einem Fehlerstrom im Erdschlussfall klein gehalten werden, wenn ein Pol-Erdungsschalter eingesetzt wird. Dieser befindet sich in der Regel im Unterwerk. Bei Auftreten eines einpoligen Erdschlusses im Netz, wird mit einem Spezialrelais die fehlerhafte Phase identifiziert und der Pol-Erdungsschalter verbindet diese Phase mit Erde. Dadurch wird der Fehlerort vom Erdschlussstrom entlastet, der dann durch den Pol-Erdungsschalterkontakt im Unterwerk auf Erde fliesst.

Im Netz der Regionalwerke Baden werden solche Pol-Erdungsschalter seit 2004 eingesetzt. Die FKH war bereits damals bei den Inbetriebnahmetests in den Jahren 2003 und 2004 beteiligt. Inzwischen wurde das Netz erweitert und es wurde eine Spannungsumstellung von 8 kV auf 16 kV vorgenommen.

Im Jahr 2019 wurden die Tests zur Überprüfung des zuverlässigen Funktionierens der Pol-Erdungsschalter wiederholt [1]. Dabei wurden künstliche Erdschlüsse durch Zuschalten präparierter Kabelphasen mit Isolationsfehlern herbeigeführt. Die realistischen Fehlerstellen führten zu repetitiv zündenden Erdfehlern. Die Tests waren erneut erfolgreich, indem das Relais in der Lage war, die Fehlerphase zuverlässig zu erkennen und die entsprechende Pol-Erdung auszulösen. Damit hat sich gezeigt, dass das Verfahren verlässlich funktioniert und sich tolerant auch gegenüber grösseren Netzveränderungen verhält.

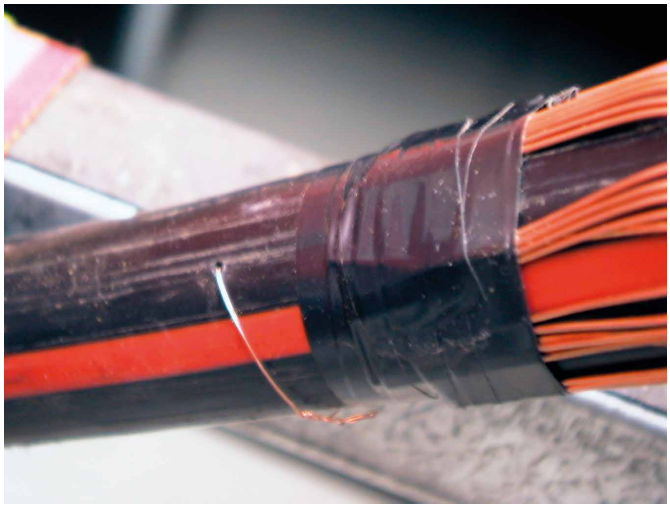


Abbildung 1: Präparierter Isolationsfehler: durchbohrtes Mittelspannungskabel mit Zünddraht

Abbildung 2: Ansicht einer künstlichen Erdfehlerstelle nach einem Erdschlussversuch mit einer Lichtbogenbrenndauer von 2250 ms

[1] Adrian Schmid, Adrian Fuchs, Emanuel Schraner, «Erkenntnisse dank Erdschlussversuchen», Electrosuisse / VSE Bulletin 11 / 2019

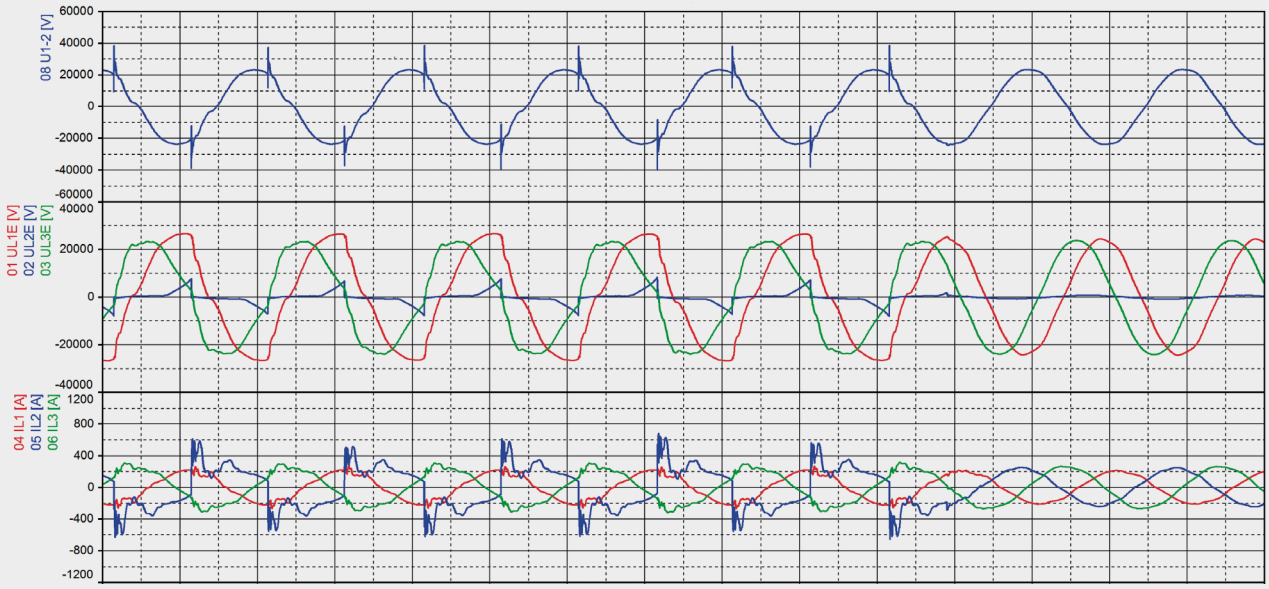


Abbildung 3: Oszillogramm nach Einleitung des künstlichen Erdschlusses im Moment, wo der Pol-Erdungsschalter die betroffene Phase auf Erde schaltet
Oben: Verkettete Spannung L1-L2
Mitte: Phasenspannungen (betroffene Phase: L2, blau)
Unten: Die Phasenströme am Ort des Erdfehlers (betroffene Phase ebenso: L2, blau)

AUTOR

Reinhold Bräunlich
Dr. sc. techn. ETH
Geschäftsführer

TE-Messungen an gekapselten Gleichspannungsschaltanlagen

Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsstrecken (HGÜ-Strecken) sind bislang als Punkt-zu-Punkt-Verbindungen ausgeführt. Typischerweise werden sie für die Energieübertragung eingesetzt bei

- Freiluft-Strecken über weite Entfernungen (ab ca. 750 km aufwärts)
- Seekabel-Strecken (ab einigen 10 km bis einigen 100 km)
- Landkabel-Strecken (als Verlängerung der vom See (Meer) ankommenden Kabel)

Ein weiterer Einsatz ist die Kupplung zweier Netze mit unterschiedlichen Betriebsfrequenzen (HGÜ-Kurzkupplung).
Die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung bietet den grossen Vorteil, dass sich die Leitungsverluste auf den Ohm'schen Widerstand des Wirkstromes beschränkt.
Bei Hochspannungs-Wechselstrom-Übertragung entstehen zusätzliche Verluste durch

- Blindleistung, welche für das periodische, kapazitive auf- und entladen der Übertragungsstrecke benötigt wird. Diese limitiert die Länge der realisierbaren Übertragungsstrecken, da mit zunehmender Streckenlänge die Blindleistung zunimmt und somit die übertragbare Wirkleistung abnimmt.
- «Skin-Effekt» (Stromverdrängung an die Ränder des Leitungsquerschnittes)
- Dielektrische Verluste (im Kabel-Isolationsmaterial)

Grundsätzlich lässt sich mit Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung deutlich mehr Leistung mit weniger Verlusten auf kleineren Trassen übertragen als mit Wechselstromsystemen.

Gründe für den heute noch seltenen Einsatz von HGÜ-Systemen sind

- der deutlich höhere Aufwand für die Transformation zwischen den Spannungsebenen (Bsp. Flächenbedarf Stromrichterstation für 600 MW bei 400 kV: ca. 300 x 300 m)
- die geringe Überlastbarkeit (gegenüber AC-Systemen)
- der bis vor kurzem fehlende Hochspannungs-DC-Leistungsschalter für die Unterbrechung eines Lichtbogens in einem möglichen DC-Netz

Im Weiteren sind bei Gleichspannung im Freiluftbereich deutlich längere Isolierstrecken aufgrund der Akkumulation von Verschmutzungen notwendig (statische Anziehung von Partikeln).

Trotz dieser Nachteile werden aktuell viele neue Entwicklungen im Bereich HGÜ-Systeme an die Hand genommen. Auslöser sind die Schwierigkeiten mit Genehmigungsverfahren für neue Trassen (oder für den Ausbau von bestehenden Trassen). Gleichzeitig besteht aber ein grosser Bedarf für den Netzausbau. Der steigende elektrische Energiebedarf, aber auch die Verschiebung der Energie-Erzeugungs-Standorte (z.B. Windkraft Offshore), belastet das Netz in zunehmendem Masse. Gleichstromverbindungen bieten sich für Seekabel an und werden oft zur Landverbindung von Offshore-Windkraftanlagen eingesetzt.

Im Bereich Diagnose von Hochspannungs-DC-Schaltanlagen konnte die FKH in den letzten Jahren bei Prototyp-Entwicklungen unterstützend mitwirken und wichtige Erfahrungen sammeln.

Der Autor ist Mitglied in den CIGRE Arbeitsgruppen:

- Dielektrische Prüfung von gasisolierten HS-DC-Systemen (JWG D1/B3.57)
- Detektion von Teilentladungen unter DC-Spannungsbelastung (WG D1.63)

In HS-DC-Systemen bildet sich im stationären Zustand eine resistive Feldverteilung aus (bei AC ist es eine kapazitive Feldverteilung). Die Feldstärkeverteilung im Isolationssystem wird dadurch hochgradig temperaturabhängig.
Dies kann im Extremfall dazu führen, dass die höchste Feldstärke im Betrieb nicht mehr am (wärmeren) Zentrumsleiter liegt, sondern auf der (kälteren) Erdseite, da der elektrische Widerstand des Isoliermaterials mit steigender Temperatur abnimmt.

Bei gasisolierten Systemen wird die Feldstärkeverteilung durch Raum- und Oberflächenladungen beeinflusst, welche u.a. durch feldstärkeabhängige Prozesse an den Elektroden oder durch Fehlstellen generiert werden.
Langsame Polarisationsvorgänge mit Zeitkonstanten im Bereich von Tagen und Wochen erschweren die Festlegung eines definierten Anfangszustandes für Tests.

Die Anwendung der Teilentladungsdiagnose unter Gleichspannung an gasisolierten Hochspannungssystemen ist noch am Anfang. Die oben erwähnten Effekte erschweren die Mess- und Reproduzierbarkeit von Teilentladungen signifikant.

Hinzu kommt noch der fehlende Phasenbezug bei der Auswertung von Teilentladungen, welcher keine Erstellung von phasenaufgelösten TE-Mustern zulässt.

Ein Ansatz TE-Defekte aufgrund von TE-Signalen zu identifizieren, ist die sogenannte Puls Sequenz Analyse (PSA), bei welcher die zeitlichen Abstände der gemessenen TE-Signale statistisch ausgewertet werden. Beim Auftreten von mehr als einer TE-Quelle kommt dieser Ansatz jedoch an seine Grenzen.

Die Unterscheidung von unterschiedlichen TE-Quellen oder von TE-Quellen und Störungen kann in diesem Fall durch die zusätzliche Analyse der Signalform des TE-Stromes erfolgen.

Mit dem aktuellen Stand der Technik lassen sich Teilentladungen in DC-GIS unter Gleichspannung detektieren, die Lokalisierung und Unterscheidung zwischen Signal und Störung sind jedoch noch in der Anfangsphase.

Die Defektidentifizierung und Risikobeurteilung an einer Anlage in Betrieb sind aktuell noch nicht gelöst.

Aus diesem Grund greift man für die Inbetriebnahmeprüfungen der aktuell auf den Markt kommenden Anlagen auf eine TE-Messung bei Wechselspannungsbelastung zurück.

Abbildung 1: Versuchsaufbau für Teilentladungsmessungen am Modell einer gekapselten Gleichspannungsschaltanlage

Referenzen

[1] Abbasi A., Castellon J., Cavallini A., Esterl F., Fritsche R., Geissler M., Hochbrückner B., Kharezy M., Kosse M., Küchler A., Markulous S., Neuhold S., Pietsch R., Plath R., Reuter R., Riechert U., Rossner M., Seltzer-Grant M., Pirker A.; Interim Report of WG D1.63: Progress on Partial discharge detection under DC voltage stress; CIGRE Colloquium SCA2 / SCB2 / SCD1; New Dehli, India; 2019.

[2] Hering M., Speck J., Grossmann S., Riechert U., Neuhold S.; Detection of particles on the insulator surface in gas insulated DC systems; Highvolt Kolloquium 2015; Dresden.

[3] Piccin R., Mor A. R., Morshuis P., Girodet A., Smit J.; Partial Discharge Analysis of Gas Insulated Systems at High Voltage AC and DC; IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation; Vol. 22, No 1; February 2015.

AUTOR

Stefan Neuhold
Dr. sc. techn. ETH
Projektingenieur

TE-Messungen an Mittelspannungs-Steck-Endverschlüssen

Kabelgarnituren und insbesondere Steckverbindungen im Mittelspannungsnetz stellen hohe Ansprüche an die Montage. Steckübergänge weisen aufgrund des Steckkonus eine trennbare und mindestens eine festmontierte Isolierstoff-Fuge auf. Sie werden mit hoher Feldstärke beansprucht, die z.T. auch eine Längskomponente aufweist.

Isolierstofffugen sind Stellen, welche anfällig für geringe Beschädigungen, Verschmutzungen, Luft und Partikel-einschlüsse sind.

Die Prüferfahrungen der FKH zeigen, dass Fugen häufige Ursache für sehr lokale Isolationsfehler sind, vor allem, wenn sie vor Ort montiert werden müssen. In der Regel können solche Fehlerstellen durch empfindliche Teilentladungs-messungen festgestellt werden.

Fehler in steckbare Kabelverbindungen und andere Fugen der Feststoffisolation können auch im Betrieb zum Isolations-versagen und zu Ausfällen führen, wobei die Folgeschäden beträchtlich sein können.

Solche Schäden, aber auch Fehlerstellen, die schon bei der Abnahme von Mittelspannungsanlagen festgestellt wurden, haben die Nachfrage für Qualitätsprüfungen durch Spannungsprüfung und TE-Messungen auf dieser Spannungsebene erhöht.

Die FKH beschafft zurzeit spezifisch angepasste Testeinrich-tungen für eine effiziente Prüfung von Mittelspannungsanlagen. In einem ersten Schritt wurde eine kleinere Resonanzdrossel konzipiert und beschafft, die zusammen mit einer Umrichter-prüfquelle mit einem Kleinbus (Kat. B) transportiert werden kann (siehe auch Seite 25, 60-kV-Resonanzdrossel).

Auch für die FKH selbst ist die Bereitstellung der steckbaren Prüfadapter mit fehlerfreien Fugen eine Herausforderung, die mit Eigenprüfungen und mit verfügbarem Ersatzmaterial sichergestellt werden muss.

Abbildung 1 zeigt eine Prinzipskizze der Prüfung mit Teilentladungsmessung an einem Transformatorenkabel mit beidseitigen Steckendverschlüssen in einem Unterwerk.

Die TE-Prüfungen wurden nach Ausfall eines der Kabel in Auftrag gegeben. Die Prüfwechselspannung wurde mit einer Serie-Resonanz-Anlage erzeugt. An beiden Steckern und an der Prüfanlage wurden mit einer Messimpedanz an der Prüf-muffe (Abbildung 2) die Teilentladungssignale ausgekoppelt. Die TE-Bilder-Abbildungen 4 und 5 zeigen ein Beispiel der Teilentladungsmuster an den Steckendverschlüssen auf der Transformatorseite und auf der Seite der Schaltanlage. Mehrere Kabel zeigten auf dem Steckendverschluss auf der Transformatorenseite Teilentladungen, die teilweise schon bei Betriebsspannung einsetzten.

Die betroffenen Endverschlüsse wurden ausgetauscht und waren anschliessend fehlerfrei.

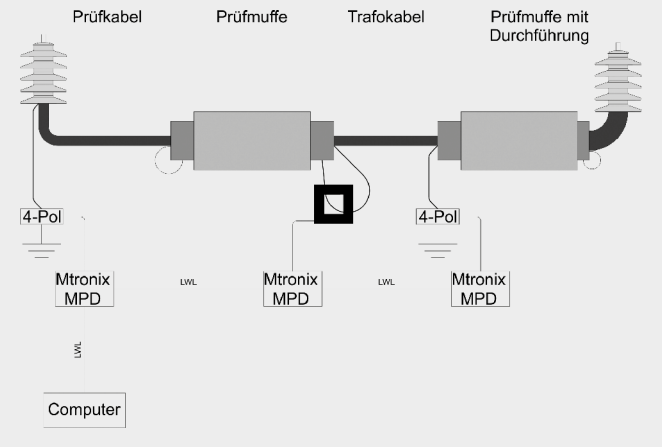


Abbildung 1: Prinzipskizze für die Messung an einem Mittelspannungskabel mit zwei Prüfadaptern und mit TE-Auskopplung über einen HF-Übertrager auf der linken Seite und über eine konventionelle Teilentladungsmessimpedanz auf der rechten Seite des geprüften Trafokabels

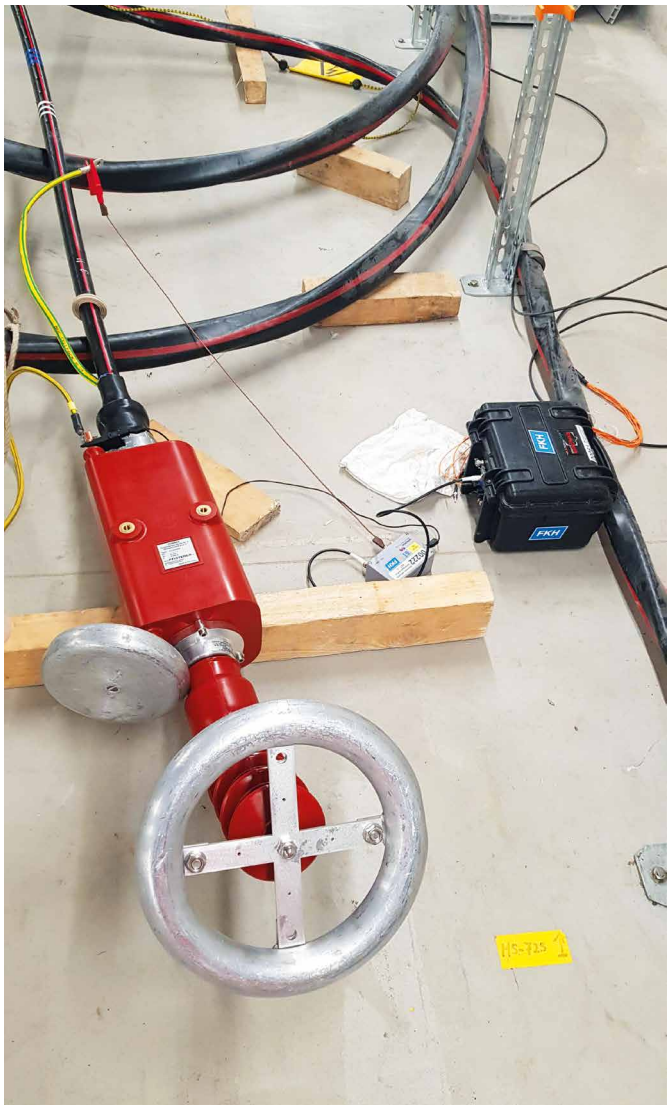


Abbildung 2: Prüfmuffe Connex Grösse 3 mit Freiluftdurchführung und Mtronix-Teilentladungsmessimpedanz der Firma Omicron zur Ankopplung an die geprüfte Kabelstrecke mit Steckendverschlüssen. Beim abgebildeten Beispiel traten keine Teilentladungen auf

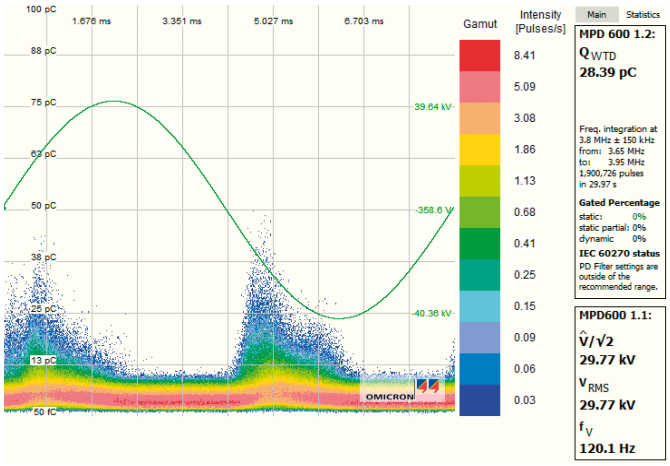


Abbildung 4: TE-Muster am Steckendverschluss auf der Seite Trafo

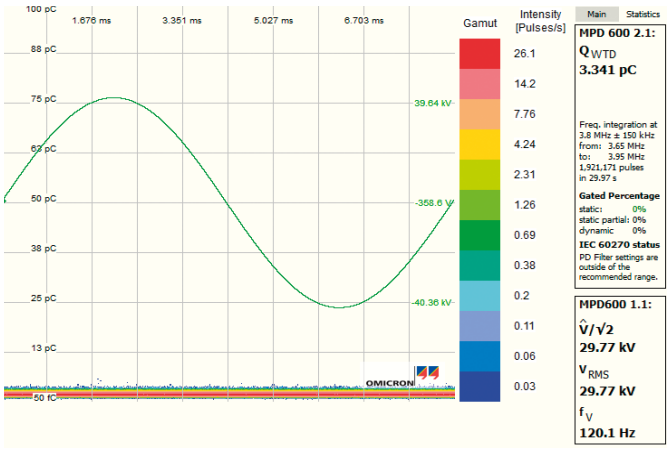


Abbildung 5: TE-Muster am Steckendverschluss auf der Seite der Schaltanlage

AUTOR

Dominic Kleger
B. Sc. El.-Ing. FH
Projektingenieur

FKH-Labor für Isolierölanalysen

Analyseaufträge
Das Öllabor konnte im Berichtsjahr die Zahl der analysierten Proben auf 1650 steigern (im Jahr 2018 waren es 1450 Proben). Dieser Anstieg kommt im Wesentlichen durch einen neuen Kunden zustande. Der Umsatz des Rekordjahrs 2018 konnte nicht ganz erreicht werden, da der Anteil an dielektrisch-chemischen Proben, welche weniger Umsatz generieren als Zersetzungsgas- und Furan-Analysen, weiter zugenommen hat.

Probenahme/Notfalldienst
Im Jahr 2019 wurden zwei Notfalleinsätze nach Buchholzalarmen durchgeführt, eine weitere Probe wurde von einem Kunden ins Labor geliefert und innerhalb von einigen Stunden analysiert. In zwei Fällen waren im Buchholzrelais brennbare Gase enthalten.

Die seit 2004 bestehende Notfallnummer für Buchholzalarme (Leitstelle des ewz) wurde Ende 2019 gekündigt, da sie nie von Kunden angerufen wurde. Neu kann die Telefonnummer des FKH-Isolieröllabors für allgemeine Belange und für dringliche Isolieröl- und Buchholzgasanalysen verwendet werden (062 288 77 99); ausserhalb der Arbeitszeiten besteht eine Umleitung auf den Leiter des Öllabors bzw. seinen Stellvertreter.

Qualitätssicherung
Zur Erhaltung der 2012 erworbenen Akkreditierung gemäss ISO/IEC 17025 als «Prüfstelle für Isolieröl und Buchholz-Ga» durch die Schweizerische Akkreditierungsstelle SAS wird jedes Jahr an einem internationalen Ringversuch teilgenommen. Von den 20 geprüften Parametern lagen 2019 bei der FKH nur zwei im «fragwürdigen» Bereich: dies war ein Furanderivat, das in realen Proben noch nie angetroffen wurde und bei den Zersetzungsgasen der Stickstoffgehalt, der für die Beurteilung ebenfalls nicht relevant ist. Insgesamt kann gesagt werden, dass die Isolierölanalyse nicht trivial ist. Bei mehreren Parametern konnte von den ca. 60 teilnehmenden Labors die nach den Normen geforderten Grenzen für die Reproduzierbarkeit unter verschiedenen Labors nicht erreicht werden.

AUTOR

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

Technische Dokumente für HS-Isolatoren, neu bei der FKH

Im Jahr 2019 hat die FKH die technische Dokumentation über Freiluftisolatoren der Firma BSB-Engineering GmbH, übernommen. Der Firmeninhaber, Herr Bernhard Staub, ehemals Direktor der Porzellanfabrik Langenthal hat seine Tätigkeit als Berater aufgegeben. In den Unterlagen ist die vorhandene technische Dokumentation der Porzellanfabrik Langenthal und auch von anderen Firmen enthalten. Insbesondere die Freileitungsisolatoren aus Langenthal sind in den schweizerischen Hochspannungsnetzen, inkl. demjenigen der SBB, weit verbreitet.

Die Daten und die gesammelten Informationen stehen den FKH-Mitliedern zur Einsicht kostenlos zur Verfügung.
Die Unterlagen umfassen:

- Mechanische und elektrische Daten und Prüfwerte von Isolatoren nach Artikelnummern
- Versuchsberichte mechanisch und elektrisch
- Prüfprotokolle mechanisch und elektrisch
- Literatur (Zeitschriften und Publikationen)
- Firmen- und Jubiläumsschriften
- Foto- und Filmsammlung

Am 26. März 2019 hat die FKH für interessierte Mitglieder ein Informationsmeeting, gemeinsam mit der EMPA, an ihrem Standort in Dübendorf durchgeführt. Der Schwerpunkt lag auf dem Thema: «Mechanische Zustandserfassung und Lebensdauerfragen von Freileitungsisolatoren.» Dabei konnte auch die Zugmaschine für die mechanische Isolatorenprüfung besichtigt werden. Auch über diesen Anlass sind Unterlagen verfügbar.

In diesem Zusammen sei erwähnt, dass die Versuchsstation Däniken der FKH umfangreiche Möglichkeiten für elektrische Prüfungen und Untersuchungen an Isolatoren bietet (siehe Abbildung 1 und auch Beitrag Seite 16/17, Der Houhanessian).

Abbildung 1: Elektrische Prüfung eines defekten Isolators, welcher einen Mastbrand versursacht hat. Gut sichtbar ist der äussere Überschlag infolge Perforation am untersten Isolatorschirm

AUTOR

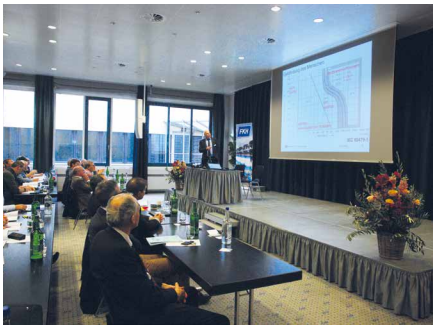
Reinhold Bräunlich
Dr. sc. techn. ETH
Geschäftsführer

FKH-Fachtagung 2019 «Erdungen»

Die FKH-Fachtagung 2019 fand am 21. November im Hotel Arte in Olten statt. Herr Günther Storf (FKH), Vorsitzender des CES TK Erdungen hat die Tagung kompetent geleitet. Die Schwerpunkte der Tagung lagen bei den Erdungsfragen von Hochspannungsanlagen, Starkstromleitungen und Bahnen. Es wurden die geltenden Richtlinien für Ausführung und Kontrolle von Erdungsanlagen, sowie deren Berechnung und Dimensionierung besprochen. Ein weiteres Thema betraf den Korrosionsschutz im Zusammenhang mit Erdungen. In den Referaten wurde auch auf die Erdung von Freileitungen und auf die gegenseitigen Systembeeinträchtigungen bei Benützung der Erdungen durch verschiedene elektrische Einrichtungen eingegangen.

Beitrag	Referent
Einführung, Zweck der Erdungen	Günther Storf, FKH
Normen und Richtlinien für Erdungsanlagen in der Schweiz	Josef Schmucki, Electrosuisse
Korrosionsschutz und Erdungsanlagen	Dr. Markus Büchler, SGK
Auswirkung der Sternpunktbehandlung auf das Erdfehlergeschehen	Dr. Patrick Favre-Perrod, Hochschule für Technik und Architektur Freiburg
Erdungsberechnungen und Erderdesign	Patrick Noth, BKW
Erdung und Schirmbehandlung von Hochspannungskabeln	Damian Aegerter, Braavos GmbH
Methoden der Erdungskontrolle und Erdungsmessung	Günther Storf, FKH
Beurteilung und Messung des Erdungssystems von Freileitungsmasten mit Erdseil	Christoph Studer, Primeo AG
Bahnerdungssysteme: an Schnittstellen zwischen AC- und DC-Bahnen	Dr. Thomas Brügger, FKH

Der Fachtagungsband kann auf unserer Homepage heruntergeladen werden.



Abbildungen 1–3: Impressionen Fachtagung

Zusammenarbeit mit Hochschulen/ Nachwuchsförderung

Betreuung von Praktikanten

Kristijan Topalović
IAESTE-Praktikant aus Kroatien von der «Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology (FERIT)», Osijek, Kroatien, Studiengang «Sustainable Power Engineering».

Praktikumsarbeit: «Elaboration of Excel tools for the design of high-voltage test circuits and for the evaluation of high-voltage tests according to IEC 60060-1». Herr Topalovi hat sich mit atmosphärischen Korrekturen nach Norm beschäftigt und dafür ein Excel-Sheet erstellt, das in Zukunft die Berechnungen vereinfachen soll. Ausserdem hat er sich mit der Stossgeneratorberechnung befasst und ein Excel-Tool sowie eine Excel-Tabelle für die Up-and-Down-Methode erstellt, die bereits für ein Projekt erfolgreich eingesetzt werden konnte.

Betreuer: Reinhold Bräunlich

Teilnahme an Fachveranstaltungen, Referate, Publikationen

Teilnahme an Fachtagungen, Referate

Reinhold Bräunlich
ISH-Konferenz, 26.–30. August 2019, Budapest

Reinhold Bräunlich
FKH-Fachtagung, Erdungen, 21. November 2019, Olten

Thomas Brügger
Vortrag: «Potenzial von VLF-TE-Messung zur Statordiagnose an Hydrogeneratoren»
Omicron Diagnosewoche, 25.–28. Februar 2019, Lindau (am Bodensee)

Thomas Brügger
ISH-Konferenz, 26.–30. August 2019, Budapest

Thomas Brügger
Vortrag: «Bahn-Erdungssysteme: an Schnittstellen zwischen AC- und DC-Bahnen»
FKH-Fachtagung, Erdungen, 21. November 2019, Olten

Vahe Der Houhanessian
ETG-Fachtagung, Leitungsbau, 7. November 2019, Dietikon

Pascal Fehlmann
Omicron Diagnosewoche, 25.–28. Februar 2019, Lindau (am Bodensee)

Pascal Fehlmann
FKH-Fachtagung, Erdungen, 21. November 2019, Olten

Diego Friedli
Congrès des Utilisateurs Omicron 2019, 25.–27. März 2019, Lyon

Diego Friedli
10. Jicable-Konferenz 2019, 23.–27. Juni 2019, Versailles

Diego Friedli
FKH-Fachtagung, Erdungen, 21. November 2019, Olten

Thomas Heizmann
FKH-Fachtagung, Erdungen, 21. November 2019, Olten

Dominic Kleger
Omicron Diagnosewoche, 25.–28. Februar 2019, Lindau (am Bodensee)

Dominic Kleger
25. Cired-Konferenz 2019, 3.–6. Juni, Madrid

Dominic Kleger
ETG-Anlagetagung, 25. September 2019, Dietikon

Stefan Neuhold
CIGRE TechTreff Substations 2019, 27. März 2019, Baden

Stefan Neuhold
Swissmem Fachgruppe Transmission und Distribution
Vortrag: «Prüfempfehlungen FKH», 27. Mai 2019, Zürich

Stefan Neuhold
TINETZ
Workshop: «GIS Prüfmethoden und Prüfempfehlungen FKH», 12. Dezember 2019, Thaur

Günther Storf
Tagungsleitung, Vorträge: «Zweck der Erdungen» und
«Methoden der Erdungskontrolle und Erdungsmessung»
FKH-Fachtagung, Erdungen, 21. November 2019, Olten

Publikationen

G. Biasiutti, G. Storf
«Eine Chance an der Grimsel ergreifen»,
Bulletin SEV/VSE, 02-2019, S. 40ff

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)

Die FKH ist bei folgenden nationalen und internationalen Fachgremien vertreten

CES electrosuisse TK: «Erdungen»
Mitglied: Günther Storf (Vorsitzender)

CES electrosuisse TK 2: «Elektrische Maschinen»
Mitglied: Thomas Brügger

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

CES electrosuisse TK 14: «Transformatoren»
Mitglied: Pascal Fehlmann

CES electrosuisse TK 20: «Elektrische Kabel»
Mitglied: Dominic Kleger

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

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

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

Cired WG 2017-1: «Test recommendations for ground screen power cable connections»
Mitglied: Dominic Kleger

FKH-Mitglieder

Verbände

Electrosuisse
8320 Fehraltorf

Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE)
5001 Aarau

Werksmitglieder

AEW Energie AG
5001 Aarau

AG Kraftwerk Wägital
8854 Siebnen

Axpo Grid AG
5401 Baden

Azienda Elettrica Ticinese
6501 Bellinzona

Aziende Industriali della città di Lugano SA
6901 Lugano

BKW Energie AG
3013 Bern

Bouygues E&S EnerTrans AG
5013 Niedergösgen

CKW AG
6002 Luzern

EBM Netz AG
4142 Münchenstein

EKT AG
9320 Arbon

Elektrizitätswerk der Stadt Zürich
8050 Zürich

Elektrizitätswerke des Kantons Zürich
8022 Zürich

Energie-Service Biel/Bienne
2504 Biel

Energie Wasser Bern
3001 Bern

ewl energie wasser luzern
6002 Luzern

Groupe E SA
1701 Fribourg

Industrielle Werke Basel
4053 Basel

Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG
4658 Däniken

Kraftwerke Oberhasli AG
3862 Innertkirchen

Sankt Galler Stadtwerke
9001 St. Gallen

SBB Energie
3052 Zollikofen

Services Industriels Lausanne (SIL)
1000 Lausanne 9

Services Industriels de Genève (SIG)
1211 Genève 2

St. Gallisch-Appenzellische Kraftwerke AG
9001 St. Gallen

Swissgrid AG
5070 Frick

Stadtwerk Winterthur
8402 Winterthur

Werke am Zürichsee AG
8700 Küsnacht

Verzasca SA
6901 Lugano

Industriemitglieder, Ingenieurbüros und weitere Mitglieder

ABB Power Grids Switzerland AG 8050 Zürich	**Mohaupt High Voltage GmbH** A-6142 Mieders
Agea-Kull AG 4552 Derendingen	**Nexans Suisse SA** 2016 Cortaillod
Arnold AG, Energie & Telecom 3072 Ostermundigen	**OMICRON electronics GmbH** A-6833 Klaus
BCP Busarello + Cott + Partner AG 8703 Erlenbach	**Pfiffner Messwandler AG** 5042 Hirschthal
Brugg Kabel AG 5200 Brugg	**Pfisterer Switzerland AG** 6460 Altdorf
Condis SA 1728 Rossens	**Pöyry Schweiz AG** 8048 Zürich
Eidgenössisches Starkstrominspektorat 8320 Fehraltorf	**Retranol GmbH** 8810 Horgen
GE Grid (Switzerland) GmbH 5036 Oberentfelden	**SGB-SMIT Transformatoren Schweiz AG** 5012 Schönenwerd
Haefely Test AG 4052 Basel	**Siemens Schweiz AG** 8047 Zürich
LEONI Studer AG 4658 Däniken	**VAPEC AG** 8304 Wallisellen
Maxwell Technologies SA 1728 Rossens	**Trafopower AG** 5012 Schönenwerd
Megger Schweiz AG 5107 Schinznach-Dorf	

Korrespondierende Mitglieder

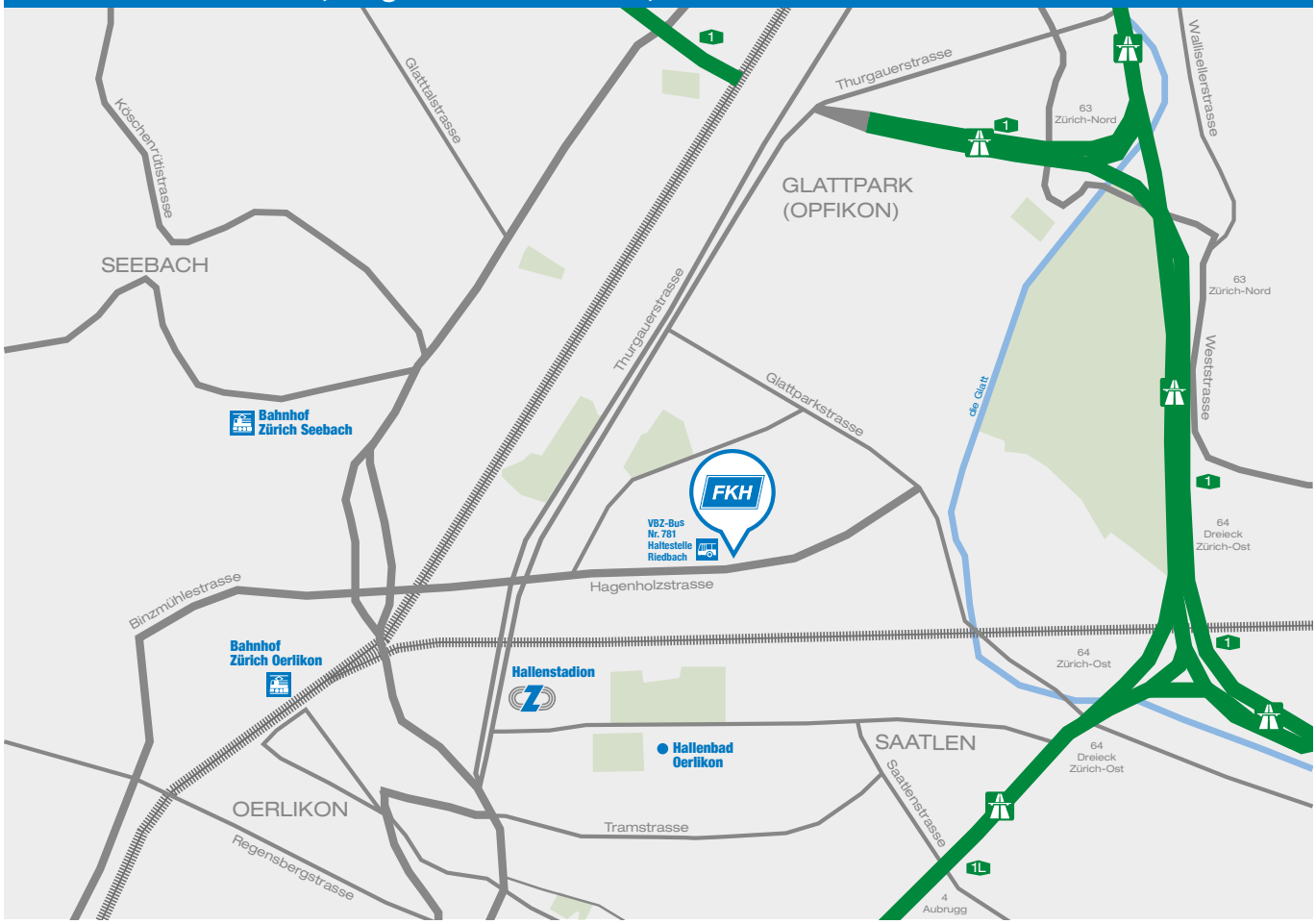
Berner Fachhochschule 3400 Burgdorf	**Forschungsgemeinschaft für Hochspannungs- und Hochstromtechnik e.V.** D-68201 Mannheim
Ecole d'Ingénieurs de l'Etat de Vaud 1400 Yverdon-les-Bains	**Haute Ecole Valaisanne** 1950 Sion
Ecole d'Ingénieurs et d'Architectes de Fribourg 1705 Fribourg	**Hochschule für Technik und Architektur Chur** 7000 Chur
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne 1015 Lausanne	**Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW** 8401 Winterthur
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich FG Hochspannungstechnologie 8092 Zürich	

Mitgliederbestand per 31. Dezember 2019

Verbände	2	(2)
Werksmitglieder	28	(29)
Industriemitglieder, Ingenieurbüros und weitere Mitglieder	22	(22)
Korrespondierende Mitglieder	9	(9)
Total Mitglieder per 31. Dezember 2019 (Stand per 31. Dezember 2018 in Klammern)	**61**	(62)

Zufahrtspläne für die FKH-Standorte

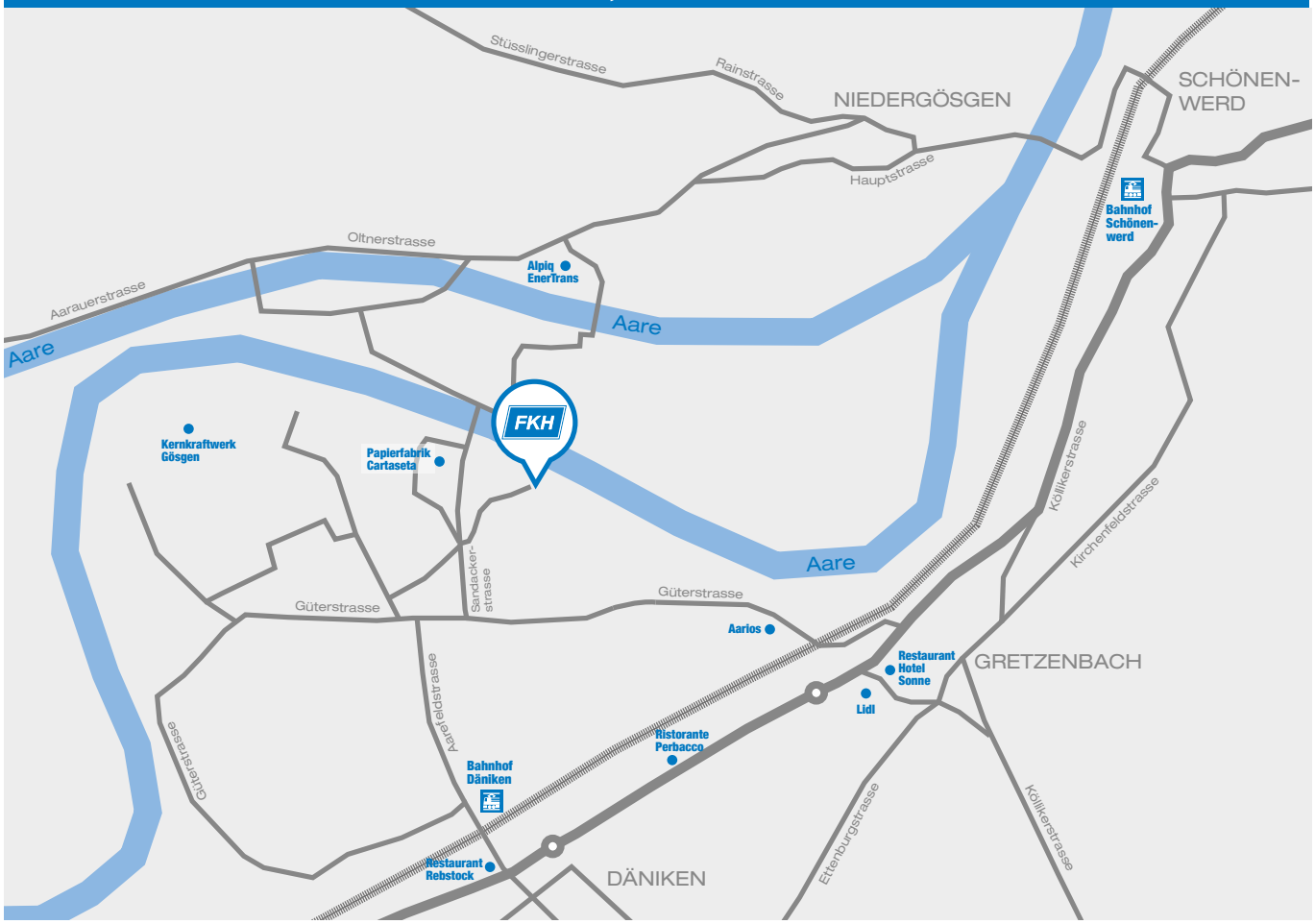
FKH-Geschäftsstelle, Hagenholzstrasse 81, 8050 Zürich



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 65

FKH-Isolieröllabor und -Versuchsstation, 4658 Däniken



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
CH-4658 Däniken

FKH

FKH-Hauptsitz
Hagenholzstrasse 81
CH-8050 Zürich
Tel. +41 44 253 62 62
Fax +41 44 253 62 65

info@fkh.ch
www.fkh.ch

FKH-Isolieröllabor

CH-4658 Däniken
Tel. +41 62 288 77 99
Fax +41 62 288 77 90

FKH-Versuchsstation

CH-4658 Däniken
Tel. +41 62 288 77 95
Fax +41 62 288 77 94

Schmocker + Sägesser AG