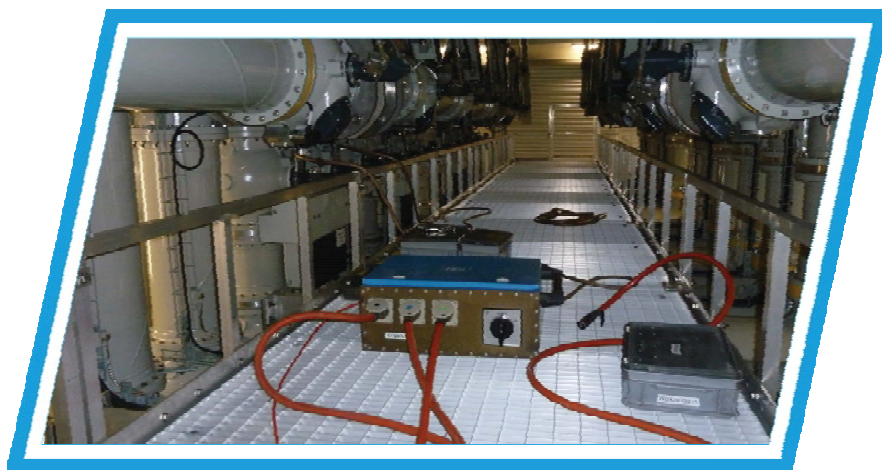




*Fachkommission für Hochspannungsfragen*

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



# ***JAHRESBERICHT 2013***



| <b>Inhalt</b>                                                       | <b>Seite</b> |
|---------------------------------------------------------------------|--------------|
| Vorwort des Präsidenten und des Geschäftsleiters.....               | 1            |
| Nachruf .....                                                       | 5            |
| 1. Struktur und Leitbild der FKH .....                              | 7            |
| 2. FKH-Vorstand .....                                               | 9            |
| 3. FKH-Arbeitsgruppe .....                                          | 10           |
| 4. Dienstleistungen der FKH.....                                    | 11           |
| 5. Auftragsarbeiten, statistische Übersicht .....                   | 12           |
| 6. Ausgewählte Auftragsarbeiten.....                                | 14           |
| 7. FKH-Labor für Isolierölanalysen .....                            | 30           |
| 8. Entwicklungen und Investitionen .....                            | 32           |
| 9. Fachveranstaltungen .....                                        | 34           |
| 10. Zusammenarbeit mit Hochschulen / Nachwuchsförderung .....       | 35           |
| 11. Teilnahme an Fachveranstaltungen, Referate, Publikationen ..... | 36           |
| 12. Mitgliedschaft / Mitarbeit in Fachgremien und Kommissionen..... | 38           |
| 13. FKH-Mitglieder .....                                            | 40           |
| 14. Informationsbroschüren der FKH.....                             | 43           |
| 15. Zufahrtspläne für die FKH-Standorte .....                       | 44           |



## Vorwort des Präsidenten und des Geschäftsleiters

Sehr geehrte FKH-Mitglieder, sehr geehrte Freunde der FKH

In einem anspruchsvollen Umfeld hat die FKH im Geschäftsjahr 2013 wiederum eine grosse Anzahl von Dienstleistungs- und Prüfaufträgen erfolgreich abgeschlossen. Wegen der kleineren Nachfrage an Prüfdienstleistungen konnten jedoch die budgetierten Umsatzziele nicht erreicht werden. Wir bedanken uns ganz herzlich bei unseren Mitgliedern und Kunden für das Interesse und für das entgegengebrachte Vertrauen. Danken möchten wir auch unseren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für ihr persönliches Engagement.

Die ausgeführten Auftragsarbeiten konzentrierten sich auf Hochspannungsprüfungen von Anlagen in Transport- und Verteilnetzen sowie auf die Mithilfe bei Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in der Industrie. Als eine Folge der Eigentumsübertragung der Übertragungsnetze (Netzebene 1) an die Swissgrid AG per 1. Januar 2013 wurden im vergangenen Jahr weniger Projekte von Schaltanlagen mit Nennspannung 380 kV und 220 kV abgeschlossen. Damit waren gegenüber den Vorjahren deutlich weniger Hochspannungsprüfungen auf dieser Netzebene auszuführen.

Für die Leitung des FKH-Isolieröllabors konnte mit Herrn Dr.-Ing. Maik Koch ein ausgewiesener Experte auf dem Gebiet der Öl-Zellulose-Isolationen gewonnen werden. Im Hinblick auf seine Pensionierung per Ende 2013 hat Herr Dr. Hans-Josef Knab nach über 10 Jahren erfolgreicher Tätigkeit die Laborverantwortung bereits im September 2013 an Dr. Maik Koch übergeben. Mit der neuen Laborleitung wird die Kontinuität der bewährten Labor-dienstleistungen sichergestellt.

Anlässlich der Mitgliederversammlung am 8. Mai 2013 wurden die aktualisierten Vereinsstatuten durch die Mitglieder bestätigt und damit in Kraft gesetzt. Die organisatorischen Bestimmungen der überarbeiteten Statuten entsprechen den formalen Anforderungen für den Eintrag des Vereins in das Handelsregister und berücksichtigen zudem die veränderte Situation in der Energieversorgungsbranche.

Mit der im Berichtsjahr eingeleiteten Beschaffung von zwei weiteren Hochleistungsdrosseln für die modularen Resonanz-Prüfanlagen wird deren Leistungsbereich signifikant erweitert. Nach der Fertigstellung und Prüfung dieser Einheiten im Jahr 2014 verfügt die FKH über 12 Hochleistungsdrosseln. Die Prüfscheinleistung bei Vor-Ort-Spannungsprüfungen wird auf 31 MVA erhöht. Mit diesen erweiterten Wechsellspannungsprüfanlagen können auf allen Spannungsebenen Kabelstrecken von mehreren Kilometern Länge geprüft werden.

Bei der Hochspannungsprüfung der 20 km langen 132-kV-Kabelstrecke der SBB durch den Simplontunnel im Juli 2013 konnten die bereits vorhandenen Hochleistungsdrosseln erfolgreich eingesetzt werden. Bei einer Prüfspannung von 190 kV wurde dabei eine Prüfscheinleistung von 22 MVA erreicht – ein neuer Rekord bei der FKH!

Im Sommerhalbjahr 2013 absolvierten wiederum zwei Studenten bei der FKH ein Praktikum, wobei die Empfindlichkeit von Teilentladungsmessungen an Hochspannungskabel-Endverschlüssen theoretisch und experimentell untersucht wurde.

Im vorliegenden Jahresbericht wird über neue Prüfmethode und Prüfeinrichtungen berichtet. Die stetige Verbesserung und Entwicklung der Prüftechnik und der entsprechenden Diagnose-dienstleistungen ist eine Grundvoraussetzung, damit die FKH auch in Zukunft die von Mitgliedern und Kunden gewünschten Leistungen effizient erbringen kann. Wir freuen uns schon jetzt, Sie im laufenden Jahr mit unseren Prüfdienstleistungen und mit technischer Beratung unterstützen zu dürfen.

Dr. Thomas Aschwanden  
Präsident

Dr. Reinhold Bräunlich  
Geschäftsleiter



## Nachruf

Prof. Dr. Walter Zaengl

6. April 1931 – 5. Januar 2014



Am 5. Januar 2014 verstarb Herr Professor Dr.-Ing. Walter Zaengl in seinem 83. Lebensjahr. Damit verliert die Fachwelt der Hochspannungstechnik und somit auch die FKH einen kompetenten Wissenschaftler und Lehrer sowie einen vielseitig begabten und grosszügigen Menschen.

1969 wurde Walter Zaengl als erster ordentlicher Professor für Hochspannungstechnik an die ETH Zürich berufen. Während 28 Jahren hat er mit seinen Lehr- und Forschungsaktivitäten an der ETH mehrere Generationen von Studierenden und Assistenten in die vielfältigen Themen der Hochspannungstechnologie eingeführt. Nebst seinem umfangreichen Pensum als Dozent für Hochspannungstechnik leitete er die wissenschaftlichen Forschungsarbeiten am Institut für Hochspannungstechnik der ETH. Diese Forschungsarbeiten haben weit über die Landesgrenzen hinaus Beachtung gefunden. Während seiner Zeit als ETH-Professor hat er zahlreiche Dissertationen angeregt und wissenschaftlich betreut, insbesondere in den Bereichen Hochspannungs-Prüf- und Messtechnik, Grundlagen von Isolierstoffen, Gasisolation und Gasentladungsphysik sowie Diagnosemethoden von Hochspannungsbetriebsmitteln.

Walter Zaengl unterstützte über mehrere Jahrzehnte die FKH mit Rat und Tat: zunächst als Vorsteher und wissenschaftlicher Leiter und später als Beirat und als Vorstandsmitglied. Mit seiner genialen Idee, einen Hochspannungs-Serieresonanzkreis mit einem elektronischen Frequenzumrichter auf seine Eigenresonanz abzustimmen, verhalf er der FKH zu völlig neuen Prüfmöglichkeiten in GIS- und Kabelanlagen vor Ort. Das Prinzip der in den 1970er Jahren gemeinsam von ETH und FKH entwickelten mobilen Serieresonanzanlage wird heute weltweit für die Vor-Ort-Wechselspannungsprüfung bei allen Hochspannungsbetriebsmitteln eingesetzt.

Prof. Zaengl hinterlässt mehr als 140 Publikationen – darunter auch zwei Lehrbücher in deutscher und englischer Sprache - über das grosse Gebiet der Hochspannungstechnik und ihre praktischen Anwendungen. Walter Zaengl wird allen Freunden, ehemaligen Studierenden, Assistenten, Mitarbeitenden und vielen Hochspannungsfachleuten durch seine liebenswürdige Persönlichkeit, durch seine bescheidene Art und durch sein umfassendes Lebenswerk in unvergesslicher Erinnerung bleiben.





## 1. Struktur und Leitbild der FKH

### 1.1 Struktur der FKH

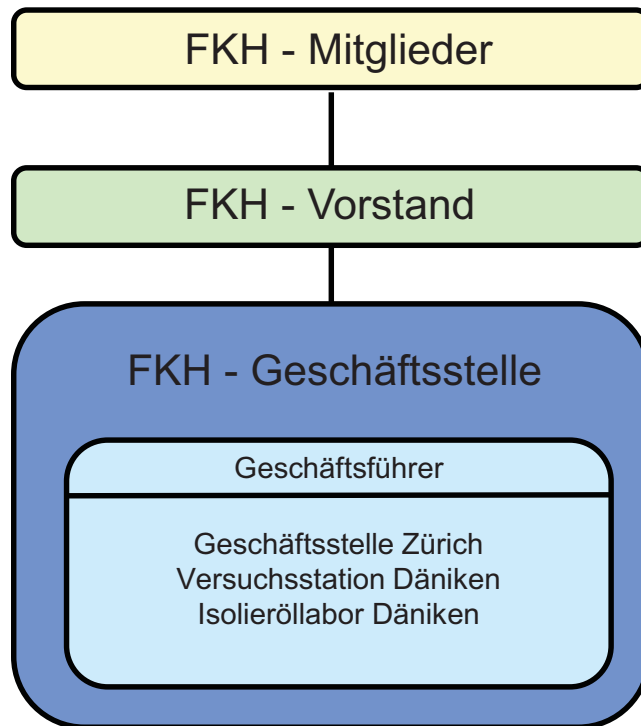


Abbildung 1: Struktur der FKH

### 1.2 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 zu den beiden ETH Zürich und 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.



## 2. FKH-Vorstand

|                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Präsident</b>      | <b>Dr. Thomas Aschwanden</b><br>Kraftwerke Oberhasli AG                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Vizepräsident</b>  | <b>Andreas Meier</b><br>Brugg Kabel AG                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Mitglieder</b>     | <b>Martin Aeberhard</b><br>Schweizerische Bundesbahnen<br><b>Peter Betz</b><br>Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen<br><b>Dr. Reinhold Bräunlich</b> <sup>1</sup><br>Fachkommission für Hochspannungsfragen<br><b>Prof. Dr. Christian Franck</b><br>Eidgenössische Technische Hochschule Zürich<br><b>David Gautschi</b><br>ALSTOM Grid AG<br><b>Bernhard Krummen</b><br>Service de l'Electricité de la Ville de Lausanne<br><b>Markus Lehner</b><br>Elektrizitätswerk der Stadt Zürich<br><b>Christian Lindner</b><br>Axpo Power AG<br><b>Prof. Dominique Rolle</b><br>Ecole d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg<br><b>Martin Weibel</b><br>Alpiq EnerTrans AG<br><b>Daniel Zeidler</b><br>ABB Schweiz AG<br><b>Hansjörg Biland (bis 31. Mai 2013)</b><br>electrosuisse |
| <b>Kontrollstelle</b> | <b>Doris Joos</b><br>Elektrizitätswerk der Stadt Zürich<br><b>Oliver Junker</b><br>Axpo Power AG                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

---

<sup>1</sup> Mitglied mit beratender Stimme

### 3. FKH-Geschäftsstelle

|                                           |                                                                                             |                                                                              |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Leiter</b>                             | <b>Dr. Reinhold Bräunlich</b> , dipl. El.-Ing. ETH                                          | braeunlich@fkh.ch                                                            |
| <b>Stellvertreter</b>                     | <b>Günther Storf</b> , dipl. El.-Ing. ETH                                                   | storf@fkh.ch                                                                 |
| <b>Sekretariat</b>                        | <b>Saskia Wellner</b>                                                                       | wellner@fkh.ch                                                               |
| <b>Mitarbeiter</b>                        | <b>Dr. Thomas Brügger</b><br>dipl. El.-Ing. ETH                                             | bruegger@fkh.ch                                                              |
|                                           | <b>Dr. Vahe Der Houhanessian</b><br>dipl. El.-Ing. ETH                                      | houhanessian@fkh.ch                                                          |
|                                           | <b>Pascal Fehlmann</b> , El.-Ing. FH                                                        | fehlmann@fkh.ch                                                              |
|                                           | <b>Diego Friedli</b> , M.Sc. Elektrotechnik                                                 | friedli@fkh.ch                                                               |
|                                           | <b>Mario Gobeli</b> , El.-Ing. FH                                                           | gobeli@fkh.ch                                                                |
|                                           | <b>Dr. Hans-Josef Knab</b> , dipl. Phys.<br>Leiter Labor für Isolierölanalysen bis 30.08.13 | knab@fkh.ch                                                                  |
|                                           | <b>Dr. Maik Koch</b> , Dr.-Ing.<br>Leiter Labor für Isolierölanalysen ab 01.09.13           | koch@fkh.ch                                                                  |
|                                           | <b>Adamo Mele</b> , Elektromechaniker                                                       | mele@fkh.ch                                                                  |
|                                           | <b>Simon Mutter</b> , Energieelektroniker                                                   | mutter@fkh.ch                                                                |
|                                           | <b>Dr. Stefan Neuhold</b> , dipl. El.-Ing. ETH                                              | neuhold@fkh.ch                                                               |
|                                           | <b>Aldo Resenterra</b> , Elektromonteur                                                     | resenterra@fkh.ch                                                            |
|                                           | <b>Franziska Schenker</b> , Chemielaborantin                                                | schenker@fkh.ch                                                              |
|                                           | <b>Markus von Arx</b> , Elektromonteur                                                      | vonarx@fkh.ch                                                                |
|                                           | <b>Toni von Deschwanden</b> , Elektromechaniker                                             | deschwanden@fkh.ch                                                           |
|                                           | <b>Matthias Weidmann</b> , Chemielaborant                                                   | weidmann@fkh.ch                                                              |
| <b>Betriebsstätten</b>                    | <b>FKH-Geschäftsstelle</b><br>Voltastrasse 9<br>8044 Zürich                                 | Tel. 044 253 6262<br>Fax 044 253 6260                                        |
|                                           | <b>FKH-Versuchsstation</b><br>4658 Däniken                                                  | Tel. 062 288 7795<br>Fax 062 288 7794                                        |
|                                           | <b>FKH-Labor für Isolierölanalysen</b><br>4658 Däniken                                      | Tel. 062 288 7799<br>Fax 062 288 7790<br>Pikett 058 319 2060<br>trafo@fkh.ch |
| <b>Kontaktadresse für die Westschweiz</b> | <b>Pascal Fehlmann</b><br>Le Verney 10<br>1483 Montet (Broye)                               | Tel. 026 665 07 20<br>Natel 079 275 91 50<br>fehlmann@fkh.ch                 |
| <b>Internet-Adresse</b>                   | <b>www.fkh.ch</b>                                                                           |                                                                              |

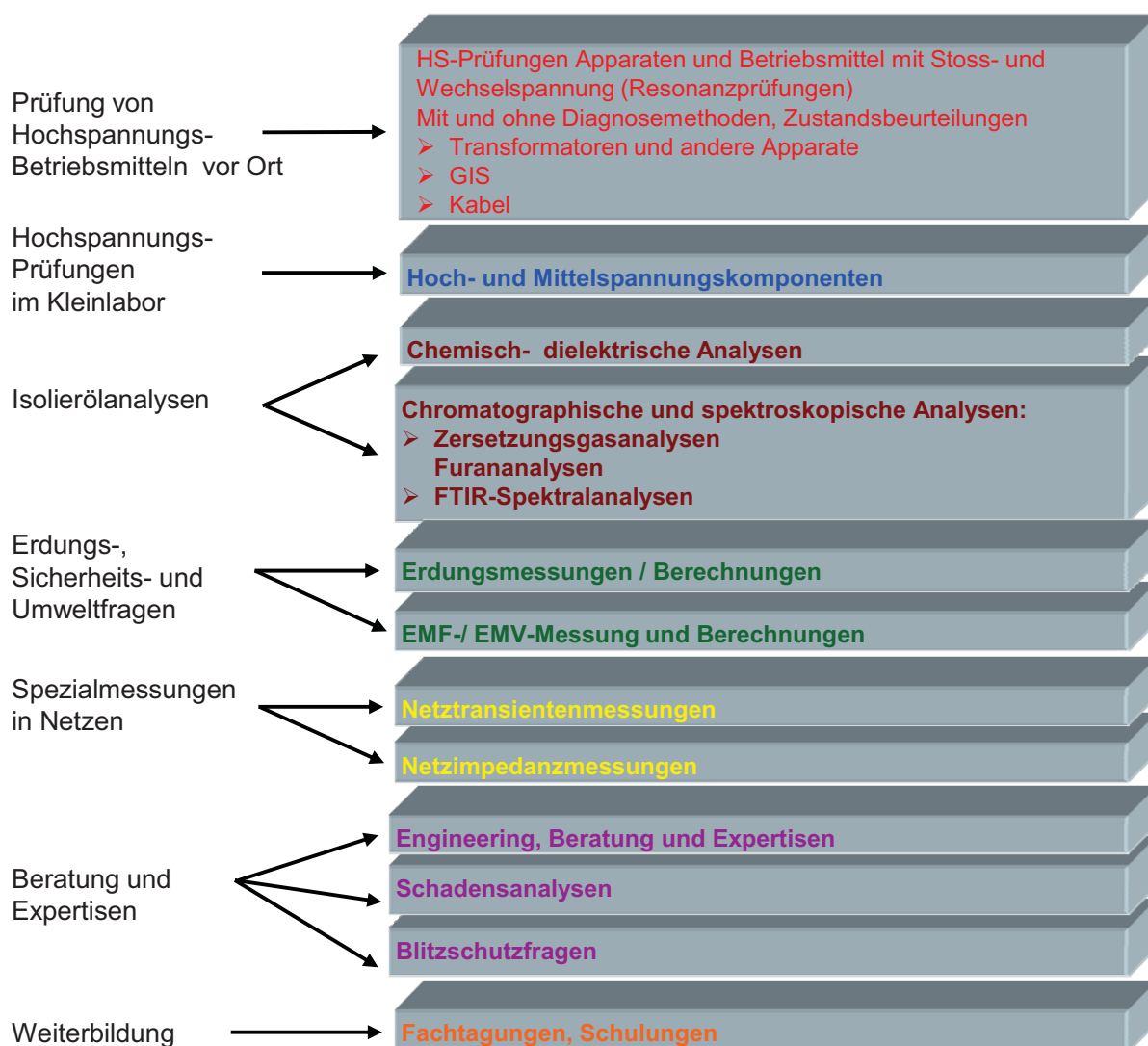
## 4. Dienstleistungen der FKH

Als neutrale Institution bietet die FKH ihren Mitgliedern und Kunden Dienstleistungen gemäss untenstehender 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 Apparate-Herstellern oder in der Versuchsstation Däniken ausgeführt werden.

Die wichtigsten Dienstleistungen der FKH sind in den Informationsbroschüren beschrieben. Die auf Anfrage erhältlichen Broschüren sind im Kapitel 14 des Jahresbereichs aufgelistet. Sie können auch auf der Internetseite der FKH abgerufen werden.

### Dienstleistungsangebot



## 5. Auftragsarbeiten, statistische Übersicht

Neben diversen Forschungs- und Entwicklungsprojekten wurden im Berichtsjahr 2013 insgesamt 147 Auftragsarbeiten und 140 Isolierölanalysen für FKH-Mitglieder und Dritte ausgeführt, mit welchen folgender Umsatz erzielt wurde (Angaben aus dem Vorjahr in Klammern, siehe auch Abbildung 1):

|                                                             |            |                    |                      |
|-------------------------------------------------------------|------------|--------------------|----------------------|
| Erlös aus Auftragsarbeiten für FKH-Mitglieder <sup>*)</sup> | CHF        | 2'332'202.-        | (3'651'710.-)        |
| Erlös aus Auftragsarbeiten für Nichtmitglieder              | CHF        | 862'595.-          | (351'841.-)          |
| Forschungs- und Entwicklungsarbeiten                        | CHF        | .-                 | (-.-)                |
| <b>Total gemäss FKH-Erfolgsrechnung 2013</b>                | <b>CHF</b> | <b>3'194'797.-</b> | <b>(4'003'551.-)</b> |

<sup>\*)</sup> Nettoerlös, 10% Mitgliederrabatt abgezogen.

Tabelle 1: Erlös aus Auftragsarbeiten

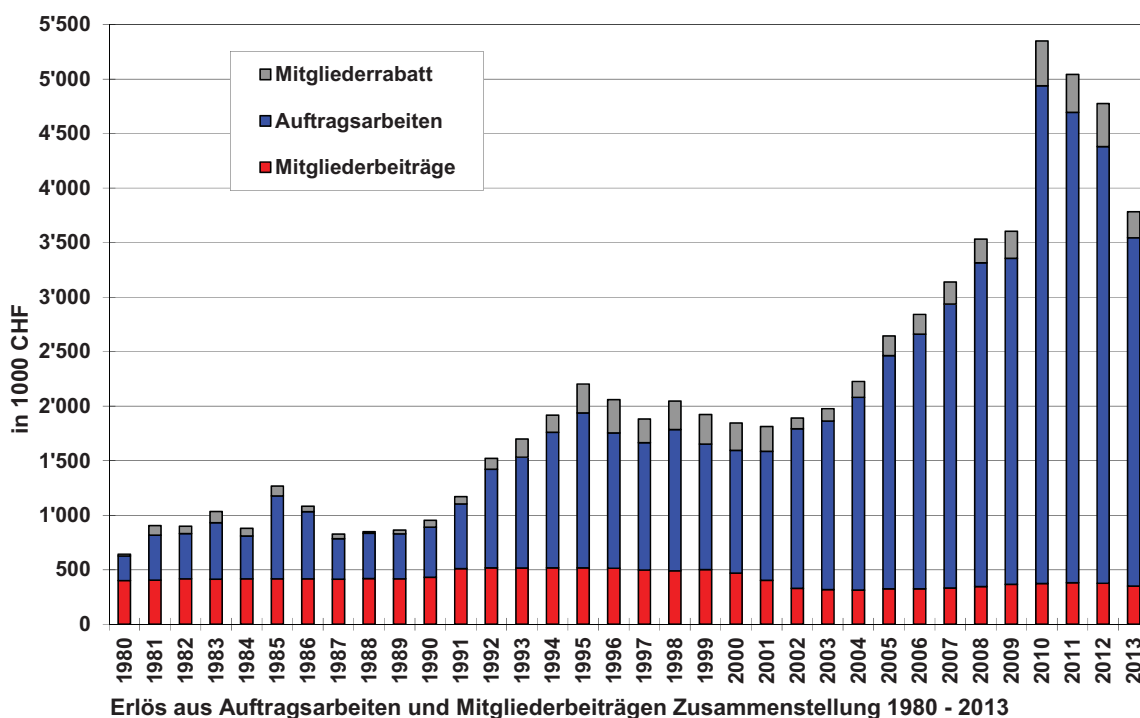


Abbildung 1: Erlös aus Auftragsarbeiten und Mitgliederbeiträgen, im Zeitraum von 1980 - 2013

Die Auftragstätigkeit der FKH-Arbeitsgruppe für Mitglieder und Dritte im Berichtsjahr 2013 kann folgenden Gebieten zugeordnet werden (prozentuale Verteilung bezogen auf den erzielten Nettoerlös, Angaben aus dem Vorjahr in Klammern):

|                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| Prüfung von Hochspannungs-Kabelanlagen                             | 39% (38%) |
| Diagnose von Hochspannungsapparaten (Transformatoren)              | 10% (12%) |
| Prüfung von GIS oder GIL                                           | 12% (20%) |
| Erdungsmessungen / Nachweis von Blitzschutzmassnahmen              | 9% (9%)   |
| Typenprüfungen / Spezialversuche                                   | 6% (2%)   |
| EMV / EMF / Korona / Transiente Vorgänge im Netz und in HS-Anlagen | 3% (0%)   |
| Beratungs- und Betreuungsaufgaben                                  | 1% (2%)   |
| Isolierölanalysen                                                  | 20% (17%) |
| Forschungs- und Entwicklungsarbeiten aus Fonds                     | 0% (0%)   |

Tabelle 2: Prozentuale Verteilung der Auftragsarbeiten im Jahr 2013 nach Dienstleistungssparten aufgeschlüsselt (Vorjahr in Klammern)

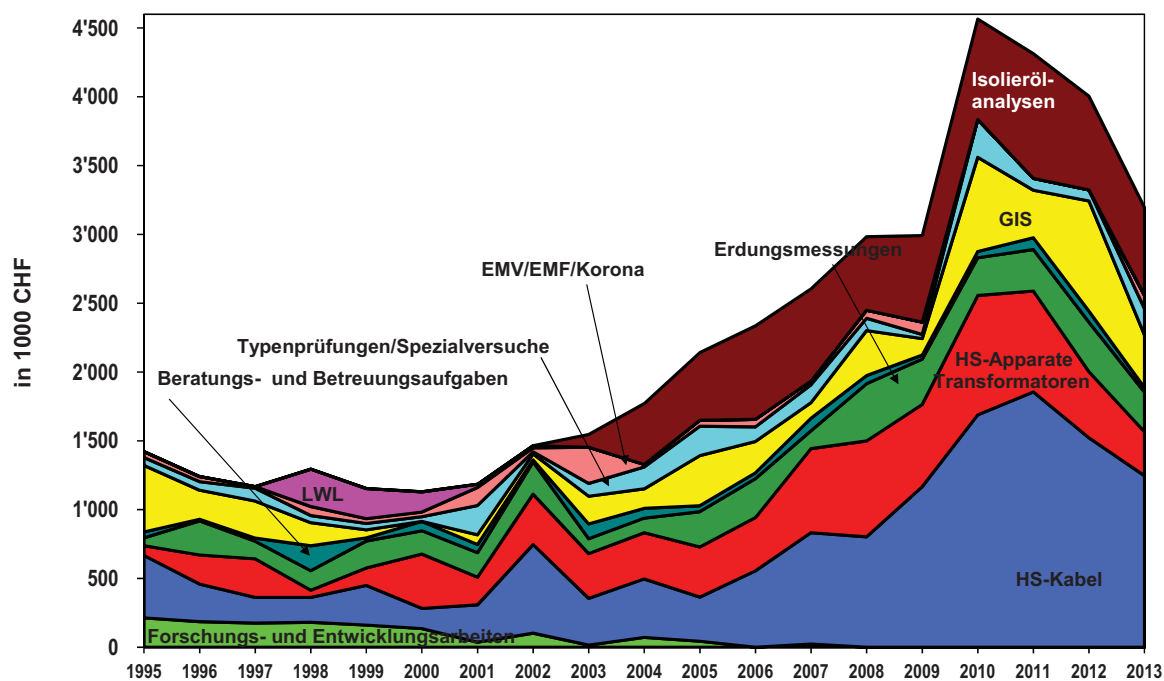


Abbildung 2: Entwicklung der Erlöse (in CHF 1'000) aus Auftragsarbeiten nach einzelnen Dienstleistungssparten, über den Zeitraum von 1995 bis 2013

## 6. Ausgewählte Auftragsarbeiten

### 6.1 UHF-Teilentladungsmessungen an gasisolierten Schaltanlagen (GIS) im Betrieb

Das Interesse an dielektrischen Diagnosemessungen an betriebsgealterten GIS ist angesichts der Zunahme des mittleren Alters dieser Schaltanlagen in den letzten Jahren deutlich angestiegen. Auch im Jahr 2013 wurden wieder Messkampagnen an GIS in Betrieb durchgeführt.

Seit dem Jahr 2007 wurden bereits 13 GIS Anlagen im Betriebsspannungs-Bereich von 50 kV bis 400 kV untersucht. Als Diagnosemethode wurde in erster Linie die Schmalband-UHF-Methode bei Messfrequenzen mit optimaler Messempfindlichkeit eingesetzt. Wo immer möglich wurde ein Empfindlichkeits-Check gemäss CIGRE Empfehlung [1] durchgeführt. Ein Beispiel für die Anwendung des Empfindlichkeits-Checks in Altanlagen wurde von der FKH bereits im Jahre 2007 publiziert [2].

In den Fällen wo keine oder eine ungenügende Zahl von internen UHF-TE-Sensoren vorhanden waren, kamen empfindliche externe UHF-TE-Sensoren an geeigneten Stellen der GIS zum Einsatz.

Bei 5 von 13 Anlagen resultierten TE-Befunde, von denen 3 durch eine Intervention behoben werden konnte. Bei einem TE-Befund wurde nach einer Risiko-Abschätzung auf eine Intervention verzichtet und eine detektierte TE-Aktivität setzte ohne Massnahmen wieder aus. Mit einer Ausnahme wurden alle Messungen im normalen Betrieb durchgeführt.



Abbildung 1: Durchschlag eines 125-kV-Spannungswandlers nach 19 Jahren Betrieb;  
Anlass für eine dielektrische Überprüfung der gesamten GIS-Anlage.



Die Veranlassung für die Überprüfung der GIS waren unter Anderem:

- Ein Durchschlag im Betrieb
- Ansprechen des eingebauten UHF-TE-Monitoring-Systems
- Zustandsbeurteilung zwecks Verlängerung des geplanten Betriebes
- Nachträglich bekannt gewordenes Qualitätsproblem
- Schaltanlagen - Erweiterung => Mitprüfen der bestehenden Sammelschiene
- Hörbare TE
- Reparatur / Primär-Komponenten-Ersatz



Abbildung 2: UHF-TE-Messaufbau für Schmalbandmessung (empfindlichste UHF-TE-Methode) sowie elektrische Laufzeitmessung mit einem 2 GHz / 4 Kanal Oszilloskop zur Ortung der Teilentladungen

Berücksichtigt man die mögliche Personengefährdung sowie die entstehenden Reparaturkosten und den Betriebsausfall, führt die dielektrische Diagnosemessung in der Regel zu Einsparungen der Lebensdauerkosten der Anlage.

Nebst den oben erwähnten Gründen empfiehlt sich eine Überprüfung des Isolationszustands einer GIS nach etwa 15 ... 25 Jahren [3]. Gründe dafür sind u.a. mögliche Partikel in Trennschaltern und Erdern (insbesondere bei hohen Schaltzahlen), sowie an horizontalen Isolatoren.

Die Erfahrung und Expertise des Prüfeningenieurs bei üblichen Prüfquellen und Diagnosemessungen im Betrieb ist entscheidend. Anders als bei Prüfquellen können Frequenz und Prüfspannung nicht variiert werden. Bei TE-Messungen im Betrieb muss ausserdem mit Störungen aus dem Netz gerechnet werden. Schliesslich können sich auch Teilentladungen von anderen Betriebsmitteln als der GIS bemerkbar machen.

- [1] CIGRE Task Force 15/33.03.05; "Partial discharge detection system for GIS: sensitivity verification for the UHF Method and the acoustic method", Electra No 183, April 1999, pp 75-87
- [2] Neuhold S., Heizmann T., Bräunlich R., Köchli D., Riechert U., Dehne C: Experiences with UHF PD detection in GIS using external capacitive sensors on windows and disk-insulators; 15th international Symposium on High Voltage Engineering; Ljubljana; 2007
- [3] Final Report of the 2004 – 2007 International Enquiry on Reliability of High Voltage Equipment; Working Group A3.06; CIGRE Oktober 2012

## 6.2 Isolationsdiagnose der Mittelspannungs-Messwandler in den Schaltanlagen der Lüftungszentralen im Seelisberg-Strassentunnel

Die FKH wurde im 2013 vom Bundesamt für Strassen, ASTRA beauftragt, den Isolationszustand der Mittelspannungs-Messwandler in den 6-kV- und 20-kV-Schaltanlagen der Lüftungszentralen im Seelisberg-Strassentunnel zu quantifizieren und ein Urteil bezüglich des Weiterbetriebs dieser Komponenten abzugeben.

Es wurden stichprobenweise Wechselspannungsprüfungen mit Teilentladungsmessungen an Messwandlern verteilt in den Schaltanlagen aller Lüftungszentralen vorgenommen.

Die einzelnen Messwandler wurden direkt in den Schaltzellen gemessen. Dank der logistischen Hilfe des „Amtes für Betrieb Nationalstrassen“, AFBN, wurde die modulare Prüfeinrichtung der FKH fix auf einem Pritschenwagen mit Anhänger installiert und bis zu den Lüftungszentralen transportiert. Die Spannung wurde mit einem hochflexiblen MS-Kabel vom MS-Transformator auf dem Anhänger bis zu den Zellen der Schaltanlagen zugeführt (siehe Abbildung 1 und 2).

Gesamthaft wurden knapp 100 Mittelspannungsmesswandler der Betriebsspannungsebenen 20 kV und 6 kV untersucht. Die Teilentladungsmessergebnisse ermöglichten eine zuverlässige Beurteilung des Isolationszustandes des Messwandlerbestandes. Auf Grund dieser Resultate wurde entschieden, die Wandler der 6-kV-Schaltanlagen weiter zu betreiben und alle Wandler der 20-kV-Anlagen zu ersetzen.

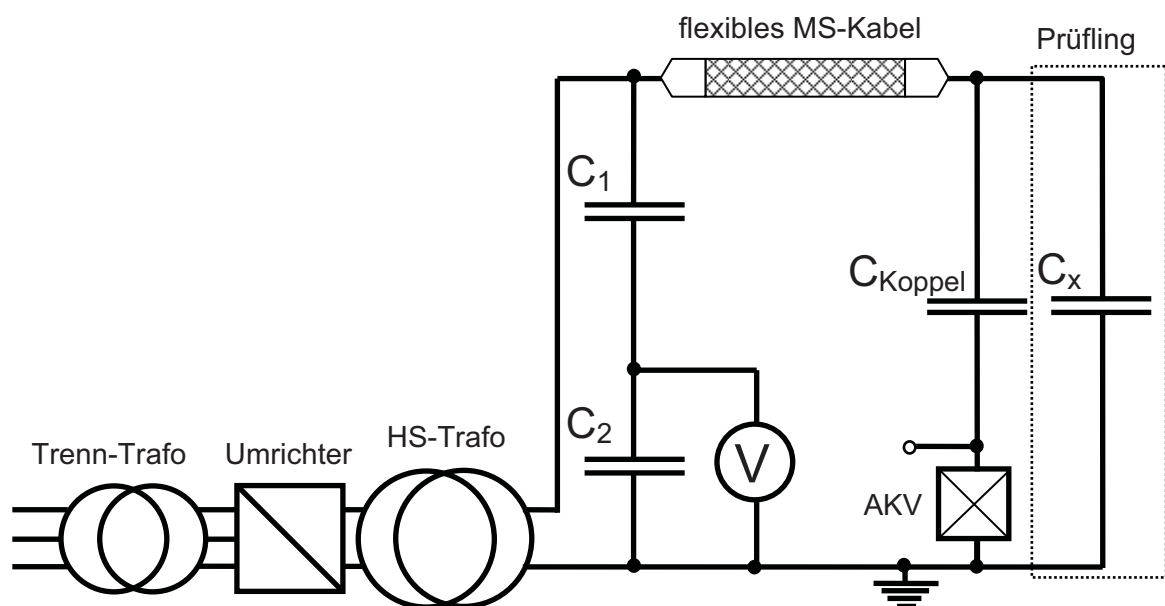


Abbildung 1: Schaltung der eingesetzten MS-Prüfeinrichtung

|                |                             |
|----------------|-----------------------------|
| $C_{Koppel}$ : | 3 nF Koppelkapazität        |
| $C_X$ :        | Prüflingskapazität          |
| $C_1$ :        | 1 nF kapazitiver Messteiler |
| AKV:           | Ankoppelvierpol             |



a)



b)



c)

Abbildung 2: Eingesetzte Prüfeinrichtung

- a) Prüfeinrichtung auf der gesperrten Fahrbahn im Autobahntunnel
- b) Anschluss des Koppelkondensators mit dem flexiblen MS-Kabel
- c) Verbindung mit einem Aluminiumrohr vom Koppelkondensator zum Messwandler

### 6.3 Admittanzmessungen an SBB-Triebfahrzeugen

Die Stromrichter von modernen Umrichter-Lokomotiven können durch Reglerückkopplung schwach gedämpfte Netzresonanzen anregen [1]. Die dabei auftretenden Überspannungen können zu Schutzabschaltungen oder Anlageschäden führen. Als Gegenmassnahme hat die SBB Anforderungen an die Frequenzgänge der Triebfahrzeug-Eingangsadmittanzen festgelegt, bei deren Einhaltung die Anregung von Netzresonanzen vermieden wird.

Für die Admittanzmessung von Triebfahrzeugen wurde bis anhin ein FLIRT-Triebzug als Störstromquelle eingesetzt. Zu diesem Zweck erzeugt der Antriebsstromrichter des FLIRT mittels einer Spezial-Software durch Pulsweitenmodulation ein frequenzvariables Spannungssignal, das über den Haupttransformator auf die Fahrleitung der Teststrecke übertragen wird (gemäss Abbildung 1). Die Teststrecke ist über eine Luftdrossel in einem Drosselwagen an das versorgende Netz angeschlossen. Die Luftdrossel erhöht im Frequenzbereich des Test-Spannungssignals die Quellen-Impedanz, womit ein grösserer Teil des angeregten Teststroms durch das Prüffahrzeug fliesst.

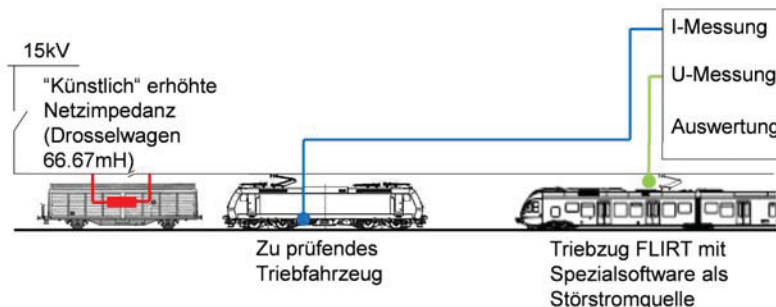


Abbildung 1: Schema der Triebfahrzeug-Admittanzmessung mit Triebzug-Frequenzumrichter als Störstromquelle (Quelle: SBB)

Die FKH hat im Auftrag der SBB eine alternative Testsignalerzeugung mit einem Audioverstärker untersucht. Im Gegensatz zum Stromrichter-Testsignal wird mit dem Audioverstärker der untersuchte Frequenzbereich mit einem Sinussignal durchfahren.

In einer Vorstudie wurde mit Simulationen und Laborversuchen eine Schaltung entwickelt, um den Audioverstärker an die 15-kV-Fahrleitung anzukoppeln. Es wurde eine neue Messmethode zur Ermittlung der frequenzabhängigen Eingangsadmittanz mit einem Lock-In-Verstärker untersucht. Der Lock-In-Verstärker generiert dabei ein frequenzvariables Referenzsignal [ $f = 50..5'000 \text{ Hz}$ ], das auf den Eingang des Audioverstärkers gegeben wird. Über die Koppelschaltung wird das verstärkte Spannungssignal auf die 16.7-Hz-Fahrleitungsspannung aufmoduliert und regt einen Strom durch das Prüf-Triebfahrzeug an, der mit einer Rogowski-Spule auf dem Verbindungskabel zwischen Stromabnehmer und Transformator des Prüf-Triebfahrzeug gemessen wird.

Der Lock-In-Verstärker demoduliert das Signal der Rogowski-Spule mit dem Referenzsignal und erlaubt so, das im Vergleich zum 16.7-Hz-Fahrstrom um mehrere Grössenordnungen kleinere frequenzvariable Testsignal präzise zu messen. Über einen zweiten Eingangskanal des Lock-In-Verstärkers wird die mit einem kapazitiven Spannungsteiler gemessene Fahrleitungsspannung ebenfalls demoduliert und schliesslich Betrag und Phase der Eingangsadmittanz im interessierenden Frequenzbereich bestimmt.

Aufgrund der positiven Ergebnisse der Vorstudie wurde die neue Methode anlässlich einer Eingangsadmittanz-Messkampagne im November 2013 erstmals versuchsweise im Feld eingesetzt. Abbildung 2 zeigt ein Gesamtschema des Messaufbaus.

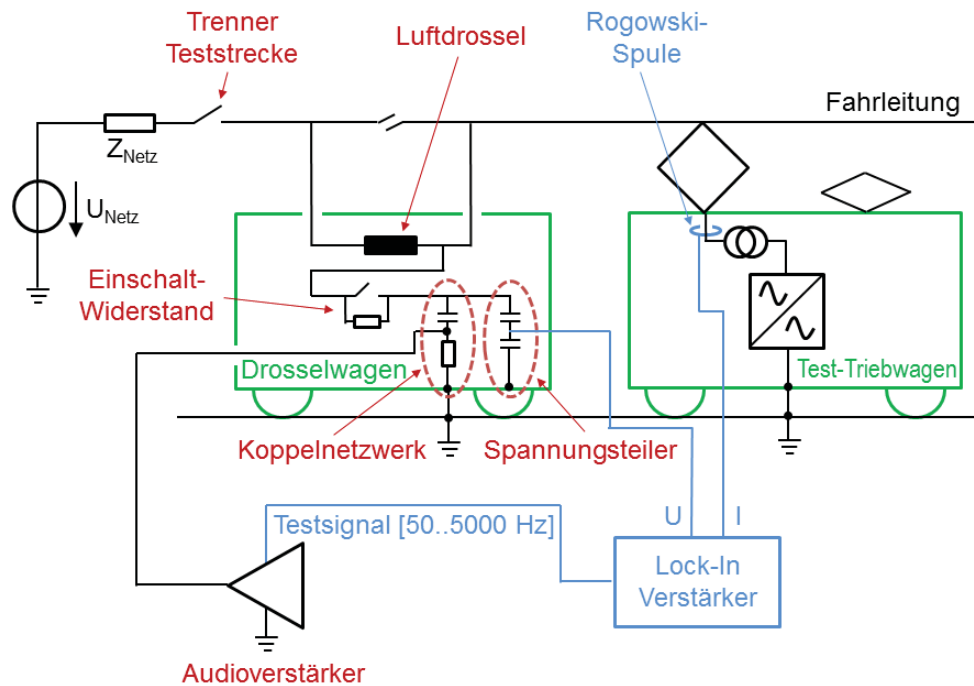


Abbildung 2: Gesamtschema des Messaufbaus

Abbildung 3 vergleicht den Frequenzgang der Eingangsadmittanz eines im Feld geprüften Triebfahrzeuges, gemessen mit der konventionellen und mit der von der FKH vorgeschlagenen Methode. Die Ergebnisse beider Methoden stimmen gut überein und bestätigen damit die grundsätzliche Tauglichkeit der FKH-Methode für die Messung von Triebfahrzeug-Eingangsadmittanzen.

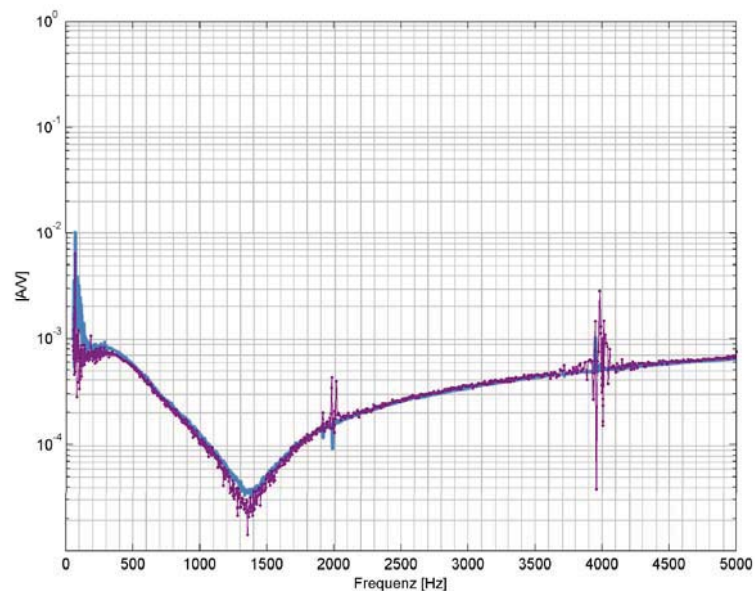


Abbildung 3: Frequenzgang der Eingangsadmittanz eines Triebfahrzeuges:  
Vergleich der konventionellen Methode (violett) und der von der FKH vorgeschlagenen (blau) zur Messung der Admittanz-Spektren

- [1] M. Meyer, M. Aeberhard, K. Germann, R. Suter, P. Dähler: Messung des Frequenzgangs von Triebfahrzeugen, Elektrische Bahnen 10/2007, S. 521ff



## 6.4 Schalttransienten-Messung in der KVA in Winterthur

Aufgrund von ESTI-Auflagen wurde beim neu installierten 110/11.3-kV-Blocktrafo in der Kehrrietzverwertungsanlage des Stadtwerks Winterthur ein Not-Aus-Schalter installiert. Über den Blocktrafo wird die Leistung des dampfturbinengetriebenen Generators (27.7 MVA) der KVA im Unterwerk Grüze auf der 110-kV-Netzebene eingespeist.

Der Blocktrafo ist über eine 750 m lange Kabelverbindung an ein Abgangsfeld der gas-isolierten 110-kV-Schaltanlage im UW Grüze angeschlossen. Beim Einschalten des Trafos mit dem Leistungsschalter im UW Grüze laufen je nach Kabelschirmbehandlung Spannungswellen in das Kabel ein, die im ungünstigsten Fall durch angeregte Wicklungsresonanzen die Trafo-Isolation schädigen oder zerstören könnten. In einer Untersuchung hat das Ingenieurbüro Georg Köppel verschiedene Konfigurationen von Kabelschirmbehandlungen numerisch simuliert [1]. Dabei hat die Variante mit Schirmableitern auf Seite UW Grüze und direkter Erdung auf Seite KVA das günstigste Verhalten gezeigt. In diesem Fall war die simulierte Spannung am Transformator praktisch schwingungsfrei und die Spannungsspitze am Transformator lag bei 116 kV (1.3.p.u.), womit keine Anregung von Wicklungsresonanzen möglich ist.

Die FKH wurde beauftragt, während eines Funktionstests des Not-Aus-Schalters die transienten elektrischen Vorgänge zu messen und damit die Simulationsergebnisse zu validieren.

Beim Blocktrafo wurden auf Oberspannungsseite die drei Phasenspannungen  $U_{OS\ L1}$ ,  $U_{OS\ L2}$  und  $U_{OS\ L3}$  gemessen (Abbildungen 1 und 2). Dazu wurde an den kapazitiven Messanschlüssen der OS-Durchführungen ein Sekundärteil mit der Kapazität  $C_2$  über Differentialsonden an das Oszilloskop angeschlossen.

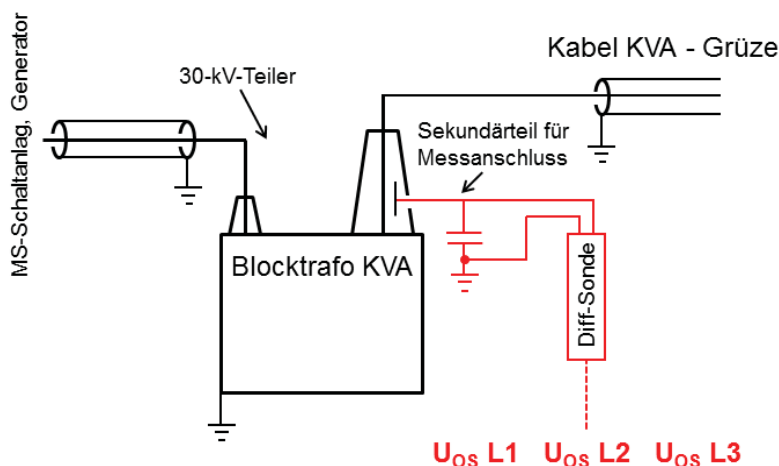


Abbildung 1: Schema des Messaufbaus

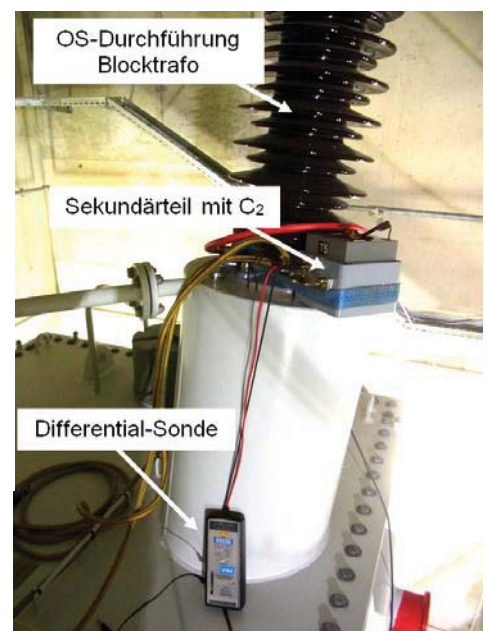


Abbildung 2: OS-Durchführung Blocktrafo mit installierter Spannungsmessung

Die Simulation für das Einschalten des Blocktrafos bei der gewählten Kabelschirmbehandlung ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Spannung am Transformator ist praktisch schwingungsfrei, und die Spannungsspitze durch die Reflexion beträgt 116 kV.

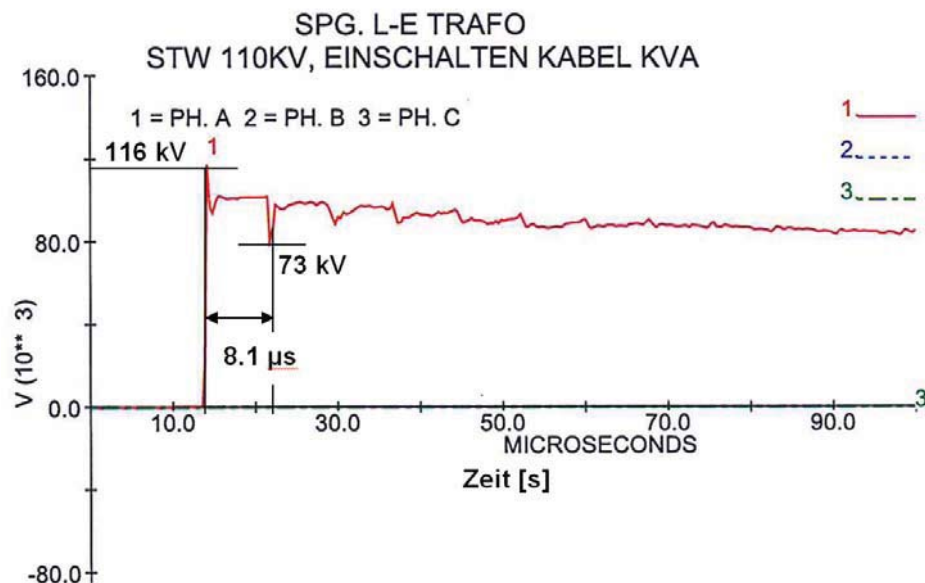


Abbildung 3: Simulation der OS-Spannung am Blocktrafo beim Einschalten über Kabel KVA (Quelle: Koepl Power Experts)

Abbildung 4 zeigt die von der FKH gemessene Spannung  $U_{OS}$  L3 im gleichen Zeitraum wie die Simulation (bis 100  $\mu$ s). Die Werte der ersten Spannungsspitze stimmt mit 117.5 kV sehr gut mit der Simulation überein und auch das Spannungsminimum nach Eintreffen einer weiteren Reflexion nach der doppelten Kabellauzeit von 8.7  $\mu$ s stimmt mit den 71.3 kV der Simulation überein.

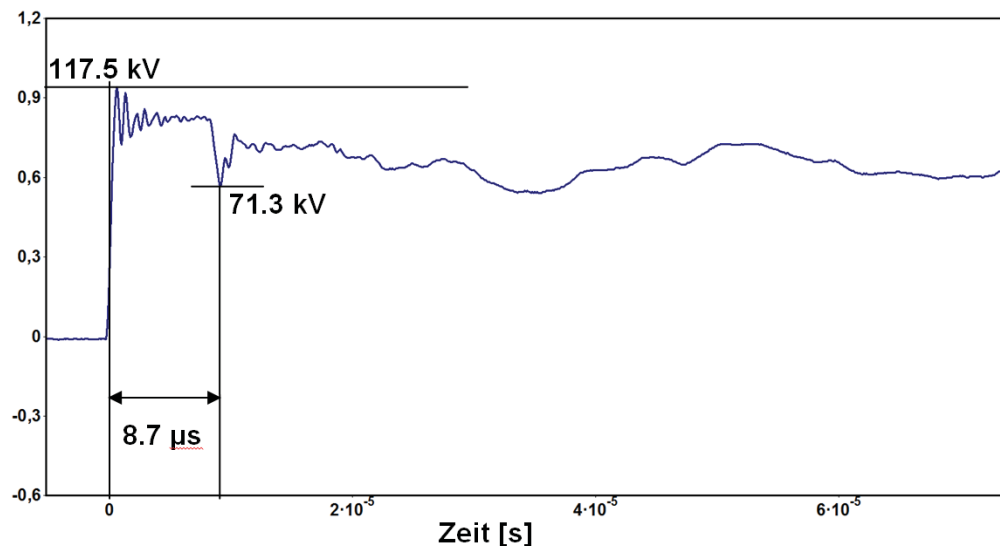


Abbildung 4: Messung der OS-Spannung L3 am Blocktrafo beim Einschalten über Kabel KVA

Damit wurden die Ergebnisse der Simulationen und die Wirksamkeit der gewählten Kabelschirmbehandlung zur Vermeidung von Wicklungsresonanzen im Blocktrafo bestätigt.

- [1] Koepl Power Experts, Einschalten Transformator KVA über Kabel; Stadtwerk Winterthur, ST KPE 2009/14, 2009

## 6.5 Kabelprüfungen auf Windkraftplattformen

Mit ihren Prüfdienstleistungen durfte die FKH auch schon wiederholt zum Ausbau von Windkraftanlagen in der Nordsee beitragen. Der durch Windkraftturbinen erzeugte Wechselstrom wird auf offener See auf Konverter-Plattformen in Gleichstrom umgewandelt, um schliesslich über DC-Kabel bis über 100 km Länge an Land transportiert zu werden.



Abbildung 1: Darstellung der Energie- Transportwege eines Windkraftparks in der Nordsee<sup>1</sup>

Die FKH wurde von Siemens beauftragt, auf drei Konverter-Plattformen die internen HS-Kabelverbindungen zwischen GIS und Transformatoren (Abbildung 3) einer Spannungsprüfung mit Teilentladungsmessung zu unterziehen. Aufgrund der Präsenz vor Ort erhielt die FKH zudem auch den Auftrag, von Prysmian gelieferte Leitungskabel zu prüfen, die später auf See mit den Windkraftanlagen verbunden werden.

Die Prüfungen fanden an Land in zwei verschiedenen Werften im Norden Deutschlands statt, bevor die Plattformen in die Nordsee geschleppt wurden. Die modularen und relativ leichten und kompakten Prüfeinrichtungen der FKH ermöglichten den Aufbau der Prüfanlage auf dem oberen Deck (Abbildung 2) oder im Inneren der Plattform.



Abbildung 2: FKH-Prüfanlage aufgestellt auf dem Deck einer Konverter-Plattform

<sup>1</sup> Quelle Internet,  
<http://www.nok21.de/2013/01/11/dlr-bessere-windenergieanlagen-durch-forschung/>



Geprüft wurden mehrere Kabelsysteme, welche die GIS-Anlagen mit den Transformatoren verbinden sowie Leitungskabel, die später mit den Seekabeln verbunden werden.

Die Erzeugung der Prüfspannung erfolgte mit einer Resonanz-Prüfanlage. Die Prüfspannung wurde mit Hilfe von Adapter-Kabeln eingespeist. Während der HS-Prüfungen wurde an allen Garnituren Teilentladungsmessungen durchgeführt.

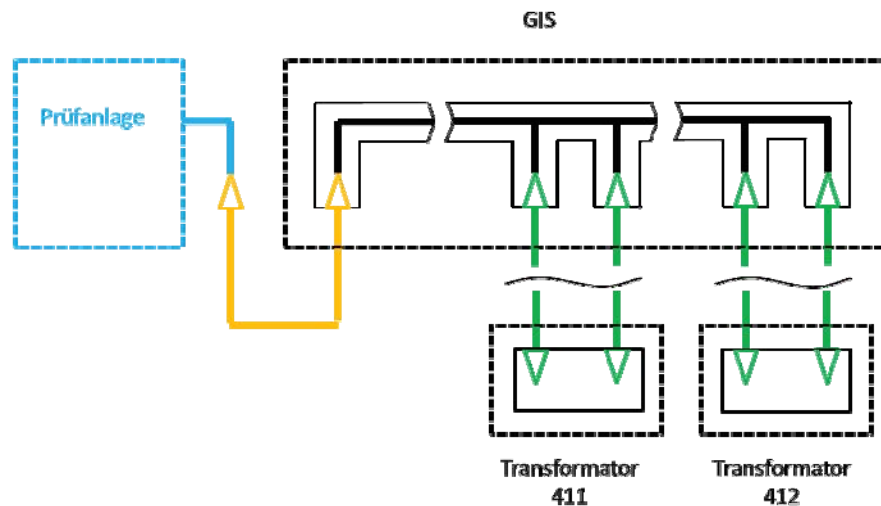


Abbildung 3: Einphasiges Prüfschema der doppelphasigen 150-kV-Trafokabel

Die grösste Herausforderung zur Abwicklung derartiger Projekte besteht in der Organisation der Prüfkampagne, der Logistik für den Transport der Prüfanlage und deren Aufbau auf der Konverter-Plattform.

Durch die gute Zusammenarbeit mit den Firmen Siemens und Prysmian konnten diese anspruchsvollen Prüfkampagnen vor Ort ohne Zwischenfälle termingerecht abgewickelt werden.



Abbildung 4: Ansicht einer Plattform in der Nordsee<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Quelle Internet: <http://www.siemens.com/press/de/pressebilder/?press=/de/pressebilder/bilder-photonews/2013/PN201312/pn201312-09.htm>

## 6.6 Hochspannungsresonanzprüfung der 132-kV-Kabelverbindung der SBB durch den Simplontunnel

Im Simplon-Bahntunnel führt durch jede der einspurigen Tunnelröhren je ein 2-phasiges 132-kV-Kabelsystem der SBB mit einer Betriebsfrequenz von 16.7 Hz.

Die FKH wurde beauftragt, das erste total erneuerte Kabel-System einer Hochspannungsprüfung zu unterziehen. Die über 20 km langen Einleiterkabel-Verbindungen aus vernetztem Polyethylen mit 300 mm<sup>2</sup> Kupferquerschnitt und einer Kapazität pro Phase von 2340 nF wurden während 15 Minuten mit 190 kV belastet.

Rechtzeitig auf den Prüftermin hin, konnten vier neue 80-H-Drosseln in Betrieb genommen werden. Elf Induktivitäten der FKH wurden zusätzlich mit zwei dazu gemieteten Drosseln ergänzt. Um die 2340 nF einer Phase prüfen zu können, wurden zwei Frequenzumrichter parallel geschaltet. Die Prüfleistung bei dieser anspruchsvollen Prüfung betrug 22 MVA. Beide Kabel bestanden die Prüfung.

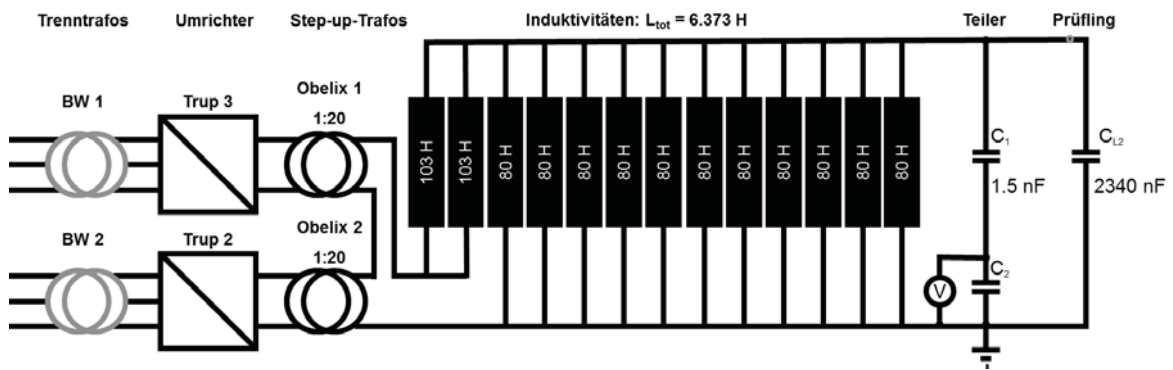


Abbildung 1: Schema der Prüfschaltung mit Resonanzanlage

Die Prüfanlage wurde vor dem Nordportal auf der Schweizer Seite des Tunnels aufgebaut.



Abbildung 2: Prüfaufbau vor Nordportal des Simplontunnels in Brig  
Links: Kabelendverschlüsse  
Rechts: 11 Serie-Resonanz-Drosseln der FKH zur Erregung einer Phase mit Wechselspannung



Abbildung 3: Prüfaufbau  
Spannungsteiler und Resonanzdrosseln.  
Hinten: LKWs mit zwei Frequenzumrichtern

## 6.7 Numerische B-Feldberechnung an Kabelsystemen mit passiver Abschirmung

Die NISV [1] schreibt für 50-Hz-Magnetfelder Immissionsgrenzwerte von 100  $\mu\text{T}$  für Orte vor, an denen sich Menschen (auch nur kurzzeitig) aufhalten können, und Anlagengrenzwerte von 1  $\mu\text{T}$  für Orte empfindlicher Nutzung (OMEN), wie z.B. Wohnräume, Schulräume oder Kinderspielplätze.

Beim Neubau oder Ersatz von Hochspannungsanlagen (z.B. Kabelverbindungen oder Unterwerken), speziell in dicht besiedeltem Gebiet, erfordert die Einhaltung der Grenzwerte bisweilen den Einsatz von passiven Abschirmungen. Passive Abschirmungen verwenden hochpermeable Materialien (sog.  $\mu$ -Metalle), um den magnetischen Fluss gezielt zu führen oder hochleitfähige Materialien (z.B. Aluminium), die das Magnetfeld durch Wirbelstromeffekte abschwächen. Häufig werden auch Materialkombinationen mit beiden Wirkungsprinzipien eingesetzt.

Die Firma CFW EMV-Consulting hat die FKH beauftragt, die Abschirmwirkung ihrer Lösung für die Abschirmung von Kabeltrassen (CableMan) für ein Hochspannungskabel-Projekt zu berechnen. Ebenfalls sollten die zusätzlichen Übertragungsverluste durch die Abschirmung und die im Kurzschlussfall auf die Abschirmung wirkenden Kräfte abgeschätzt werden.

Die Berechnung von Abschirmfaktoren passiver Magnetfeldschirmungen ist mathematisch anspruchsvoll und nur für einfache Geometrien analytisch lösbar. Im Fall von geschichteten Abschirmungen wie CableMan, die aus mehreren Lagen von hochpermeablen und hochleitfähigem Material zusammengesetzt sind, werden numerische Software-Tools verwendet, um die zu erwartende Schirmwirkung bei der Planung zu berechnen.

Die von der FKH untersuchte Kabelverbindung bestand aus einem 220-kV- und einem 20-kV-System, die in einem Kabeltrog verlegt werden sollten. Der für die Abschirmung vorgesehene „CableMan“ besteht aus einem U-Profil aus Abschirmplatten, welches den Kabeltrog seitwärts und oben umschließt (Abbildung 1).

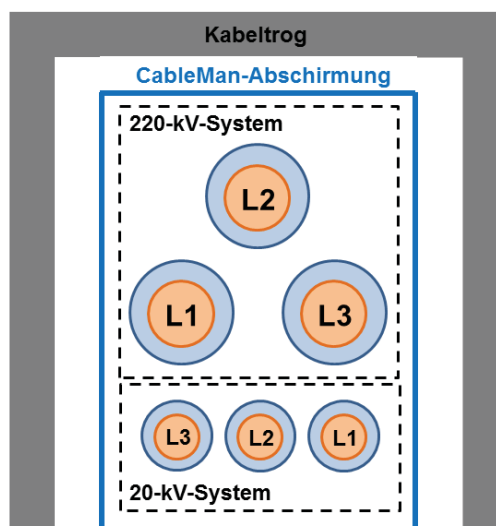


Abbildung 1: Schema der Kabelanordnung im Kabeltrog und Position der Abschirmung

Für die Berechnung der Abschirmfaktoren wurde eine Software eingesetzt, die auf einer Kombination aus Finite-Elemente- und Randlement-Methode basiert. Die Wirkung der Abschirmung ist in den Abbildungen 2 und 3 durch die dargestellten Linien gleicher Flussdichte ersichtlich. Der Abschirmfaktor beträgt für einen Punkt 200 mm über der Mitte der oberen Abschirmungsfläche ca. 150.

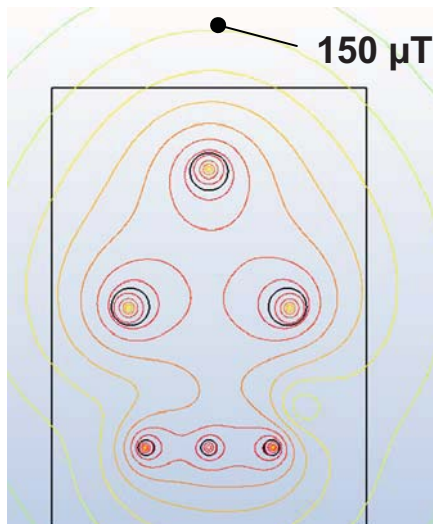


Abbildung 2: B-Feld ohne Abschirmung  
(Position der Abschirmung nur zur Orientierung eingezeichnet)

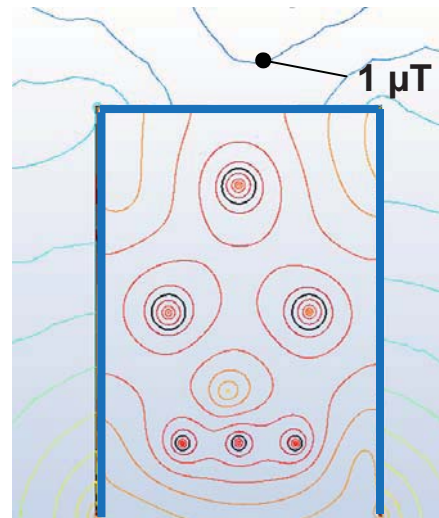


Abbildung 3: B-Feld mit CableMan-Abschirmung

Die zusätzlichen Übertragungsverluste der abgeschirmten Kabelsysteme entstehen hauptsächlich durch Wirbelströme, die in den hochleitfähigen Lagen der Abschirmung induziert werden und dadurch das induzierende Feld gegen aussen abschirmen. Abbildung 4 zeigt eine Darstellung der Wirbelstromdichte und -Richtung im Abschirmblech.

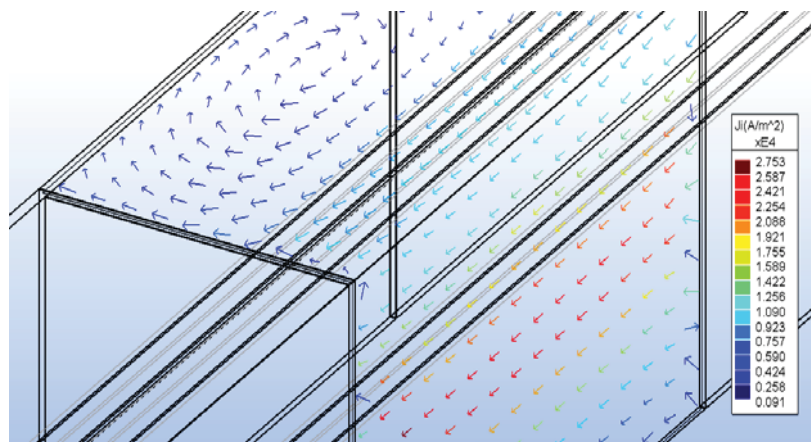


Abbildung 4: Wirbelstrom- Dichte und -Richtung im Abschirmblech

Zu den Wirbelstromverlusten addieren sich die Hystereseverluste der hochpermeablen Abschirmlagen, die im Vergleich aber klein sind. Zusammen ergeben sich zusätzliche Verluste durch die Schirmung von ca. 30 W/m bei den hohen Nennströmen von 1'200 A im 220-kV- und 600 A im 20-kV-System. Zu beachten ist, dass diese berechneten Wirbelstrom- und Hystereseverluste von der Geometrie abhängen und bei anderen Anordnungen auch kleiner ausfallen können.

Im Fehlerfall liegen die maximalen Kräfte auf die Abschirmplatten unter 250 N/m. Sie können von der Befestigung der Abschirmung problemlos aufgenommen werden.

- [1] Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV), SR 814.710 (Stand 01. Juli 2012)



## 6.8 Theoretische Abschätzungen von Koronaschallemissionen an Hochspannungsfreileitungen

Die FKH befasst sich seit mehreren Jahren mit der Thematik von Koronaschall auf Höchstspannungs-Freileitungen und hat dazu entsprechende Berechnungsprogramme für die zu erwartenden Schalldruckpegel entwickelt. Im Interesse stehen dabei die Schalldruckpegelwerte entsprechend der Empfindlichkeitscharakteristik des menschlichen Ohrs „dB(A)“. Aufgrund der vielen Einflussfaktoren fehlt es an zuverlässigen nur auf physikalischen Gesetzen beruhenden Berechnungsmethoden. Alle Prognoseverfahren basieren deshalb auf der Umrechnung, bzw. Skalierung von empirischen Schalldaten. Die entscheidende Ausgangsgrösse für die Berechnung der Koronaschalldruckpegel von Freileitungen ist die elektrische Feldstärke auf der Leiterseiloberfläche (Randfeldstärken).

Eine Zusammenstellung der bekannten Berechnungsmethoden für Koronaschallemissionen enthält die Cigré-Broschüre Nr. 61 [1] der Cigré-Arbeitsgruppe 36.01 aus dem Jahr 1996. In diesem Dokument werden empirische Beziehungen für die Bestimmung der Koronaschalldruckpegel von zehn Forschungsinstitutionen zusammengestellt und verglichen. Die Beziehungen basieren alle auf Schallmessungen an existierenden Freileitungen oder an Leitungsmodellen, die auf andere Leitergeometrien und Betriebsspannungen mit und ohne Niederschlag im jeweiligen Gültigkeitsbereich der Parameter umgerechnet werden können. Die FKH verwendet die drei am häufigsten verwendeten Berechnungsmethoden von EDF, EPRI und BPA<sup>1</sup> [1], [2], [3], welche vor allem bei niedrigen Randfeldstärken und niedrigen Koronaschallpegeln gewisse Abweichungen voneinander aufzeigen. In diesem Bereich sind die Einflussfaktoren und die statistische Streuung der Messergebnisse erheblich. Durch die Verfügbarkeit aller drei bekannten Methoden lassen sich in den meisten Fällen Vergleiche mit früher berechneten Beispielen ausführen.

Wesentliche Koronaschallemissionen treten in der Regel nur bei Niederschlag, bzw. bei nassen oder Schnee- oder Reif-belegten Leiterseilen auf. Aus praktischen Gründen wird die Randfeldstärke auf einer Ersatzzylinderoberfläche berechnet. Mit der jeweiligen Beziehung für eine vorgegebene Niederschlagsrate wird anschliessend ein Schallleistungspegel pro Seillänge ermittelt. Aus solchen Leistungspegeln lassen sich durch Überlagerung Schalldruckpegel an beliebigen Orten in der Umgebung berechnen.

Für die Leiterseilkonfigurationen in Abbildung 1 wurde der Koronaschalldruckpegel berechnet. Es handelt sich dabei um ein „Donaumastbild“ mit zwei unterschiedlichen Phasenfolgen (Mastbild 1 und 2) und ein „Tonnenmastbild“ (Mastbild 3)

---

1 EDF: Électricité de France;  
EPRI: Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, USA;  
BPA: Bonneville Power Administration, Portland, OR, USA

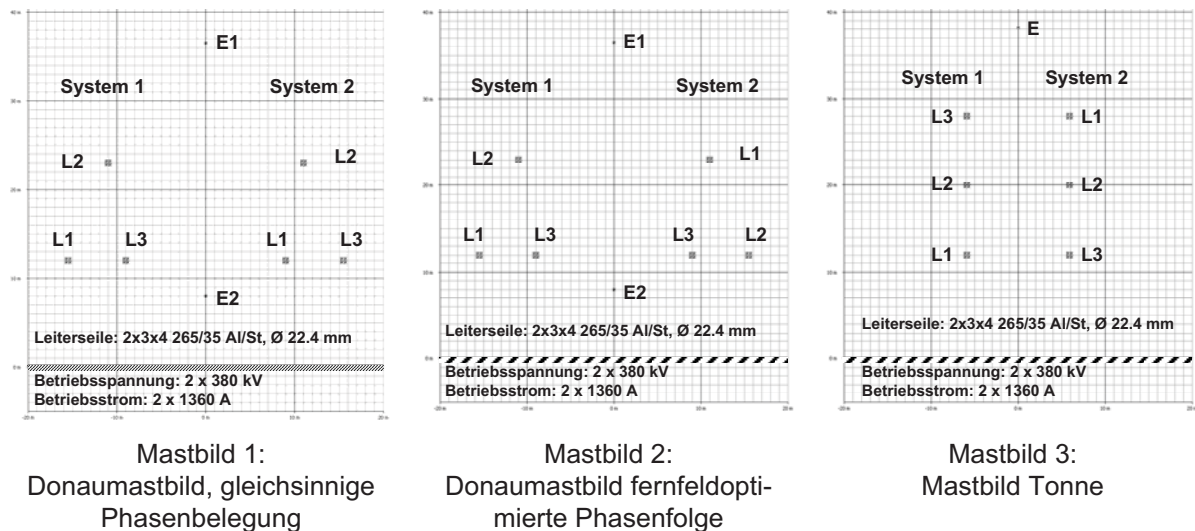


Abbildung 1: Geometrie- und Betriebsparameter der drei zur Berechnung ausgewählten Mastbilder

Abbildung 2 zeigt die Ersatzzylinderfeldstärken (Randfeldstärken) für jedes Einzelleiterseil und alle drei untersuchten Mastvarianten. Da die Koronaaktivität sehr empfindlich (überproportional) auf die Randfeldstärken reagiert, sind die höchsten Feldstärkewerte, die in einer Leiterseilkonfiguration vorkommen, in der Regel dominant für den Gesamtschallpegel.

In Abbildung 3 sind Querprofile des Koronaschalldruckpegels der drei untersuchten Mastbilder zu sehen, gewichtet nach der Gehörempfindlichkeit des menschlichen Ohrs, gegenübergestellt (Einheit: dB(A), Filterkurve A nach DIN EN 61672-1).

Die Berechnungen wurden nach den Beziehungen der EPRI [3] vorgenommen und gelten für starken Regen (Regenrate 6.5 mm/h). Die Querprofile in 1 m Höhe über dem Erdboden wurden mit und ohne Luftdämpfung berechnet (bei 70 % relativer Luftfeuchtigkeit und Temperatur 15°C).

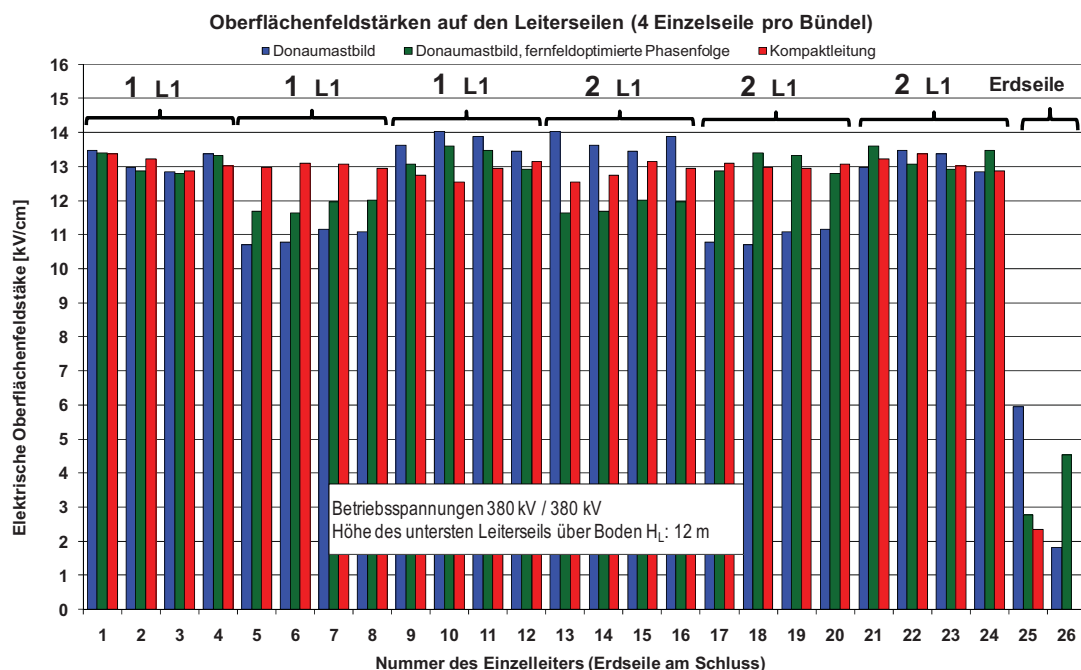


Abbildung 2: Maximale Oberflächenfeldstärken an den Leiterseilen  
(Geometrieparameter aus Abbildung 1)

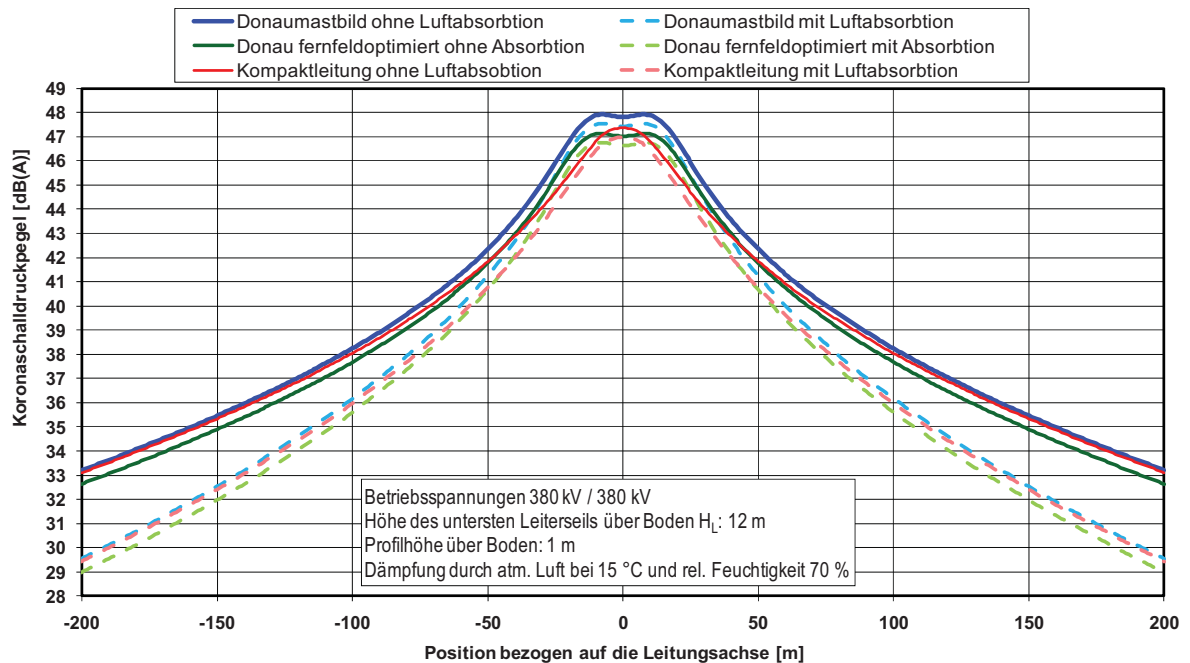


Abbildung 3: Koronaschalldruckpegel für die drei Mastbilder mit und ohne Dämpfung durch die Luft (bei einer relativen Feuchtigkeit von 70% und einer Lufttemperatur von 15 °C)

- [1] Cigré Study Committee 36; "Interferences produced by corona effect of electric systems (Description of Phenomena and Practical Guide for Calculation); CIGRE Working Group 36.01, EMC Aspects of Corona, Electric and Magnetic Fields; December 1996, Cigré report, No 61.
- [2] Gary C., Moreau M.; "L'Effet de Couronne en Tension Alternative"; Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France, Eyrolles, 1976 (Complément, page 417ff).
- [3] "Transmission line reference book, 345 kV and above", 2nd ed.; Electric Power Research Institute in Palo Alto, 1982.



## 7. FKH-Labor für Isolierölanalysen

### 7.1 Wechsel der Laborleitung

Das Jahr 2013 brachte für das Isolieröllabor wesentliche Änderungen. Nach 33 Jahren in der Analyse von Isolierölen, zuletzt bei der FKH, trat der Laborleiter Dr. Hans-Josef Knab in den verdienten Ruhestand. In den Jahren 2003 und 2004 hatte Hans-Joseph Knab das Isolieröllabor bei der FKH neu aufgebaut. Wesentlicher Anlass war der Wunsch vieler Schweizer Kraftwerksunternehmen und Netzbetreiber nach einer herstellerunabhängigen Institution für Ölanalysen. Das Ergebnis ist ein heute international anerkanntes Labor. Im Jahr 2012 wurde das Labor nach ISO 17025 (Swiss Testing STS 581) akkreditiert.

Am 01.09.2013 ging die Leitung des Labors an Dr.-Ing. Maik Koch über. Herr Koch hat 15 Jahre Erfahrung in der Hochspannungstechnik, schrieb über 70 wissenschaftliche Veröffentlichungen und trägt zu Arbeitsgruppen von Elektrosuisse, VDE, Cigré und IEEE bei. Für den nahtlosen Übergang wurden Mitglieder und Auftraggeber des FKH Isolieröllabors besucht mit dem Ziel, die insgesamt sehr gute Kundenbeziehung zu festigen. Maik Koch legt nun die Schwerpunkte des Labors auf die Optimierung der vorhandenen Abläufe, eine Erweiterung des Angebots an Prüfdienstleistungen und neue Forschungsprojekte.



Abbildung 1: Leiter des Isolieröllabors: Maik Koch (links) und Hajo Knab (rechts)

### 7.2 Neue Analysegeräte

Im Jahr 2013 erreichten einige unserer Prüfgeräte das 10. Betriebsjahr. Das machte besonders wegen Software-Inkompatibilitäten die Erneuerung der Messgeräte für die Säurezahl und den Wassergehalt im Öl nötig. Die neuen Geräte verfügen über einen Probenwechsler bzw. ein besonderes Ausheizsystem, was uns schnellere Abläufe und auch die Analyse neuer Flüssigkeiten ermöglicht: Isolierflüssigkeiten auf Basis von Pflanzenölen, Silikonölen und Polybutenen.

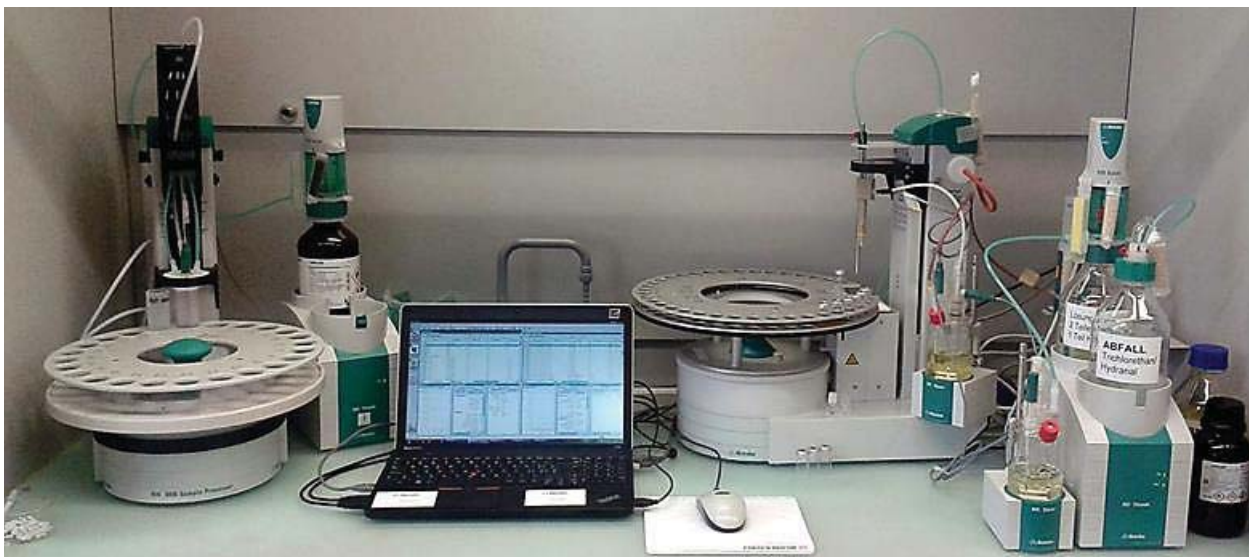


Abbildung 2: Die neuen Analysegeräte für Säurezahl (links) und Wassergehalt (rechts) in Isolierflüssigkeiten

Besonders für zeitnahe Vor-Ort Analysen findet das neu erworbene GE Kelman Transport seinen Einsatz. In diesem Gerät wird eine Gasanalyse mittels photo-akustischer Spektroskopie durchgeführt.

### 7.3 Forschungsprojekt Shell S4

Als grösseres Forschungsprojekt konnte das Isolieröllabor einen Vergleich der Alterungsperformance verschiedener Hochleistung-Isolieröle auf Mineralölbasis starten. Shell führte im Juni 2013 ein neues, inhibiertes Transformatorenöl mit dem Namen Shell Diala S4 ZX-I auf Basis von GtL-Grundölen ein. Beim GtL-Verfahren wird Erdgas durch Zufuhr von Sauerstoff und Wasserdampf zu Synthesegas und dieses in einer Fischer-Tropsch-Synthese zu Kohlenwasserstoffen umgewandelt. Auf den Wunsch unserer Mitglieder und Kunden prüft die FKH dieses Isolieröl im direkten Vergleich zu bisherigen Ölen. Ziele des Forschungsprojektes sind folgende Untersuchungen:

1. Direkter Vergleich zwischen dem herkömmlichen Shell Diala S3 ZX-I, dem neuartigen Shell Diala S4 ZX-I (GtL) und dem Vergleichsprodukt Nynas Nitro 4000X,
2. Langfristiges Verhalten des gesamten Öl-Papier Isolationssystems unter typischen Betriebsbedingungen,
3. Einfluss der Inhibitoren auf den Alterungsprozess und
4. Mischbarkeit mit herkömmlichen Mineralölen.

Dazu wird ein ausführlicher Alterungstest ausgeführt (6 Monate bei 130°C) und die für die Ölanalyse typischen Parameter als auch zusätzliche Kenngrößen überwacht. Am Projekt teilnehmende Mitglieder und Kunden der FKH konnten die Versuchsbedingungen mitgestalten und werden zeitnah über die Ergebnisse informiert. Das Projekt wird voraussichtlich im Sommer 2014 abgeschlossen.

### 7.4 Akkreditierung

Die 2012 erworbene Akkreditierung gemäss ISO/IEC 17025 als "Prüfstelle Typ B für Isolieröl und Buchholz-Gas" durch die Schweizerische Akkreditierungsstelle SAS konnten wir durch erfolgreiche Audits erhalten. Damit bleibt unser in der Schweiz einzigartiges Mass an Qualität in Bezug auf Messgenauigkeit und Kompetenz auf dem Gebiet der Isolieröle und der Interpretation von Analyseresultaten gewahrt.

## 8. Entwicklungen und Investitionen

### 8.1 Speisequelle für die Erregung von Grosstransformatoren für Teilentladungsprüfungen vor Ort

Die neue Prüfquelle für Leistungstransformatoren der FKH baut auf einem Frequenzumrichter (FU) für Motorantriebe mit einer Leistung von 717 kVA auf. Die Prüfquelle soll künftig bei der Prüfung von Leistungstransformatoren anstelle der bis anhin verwendeten Diesel-Aggregate zum Einsatz kommen. Der Frequenzumrichter ist zusammen mit einem Sinusfilter in einem Schaltschrank integriert und wird bei Vor-Ort-Prüfungen modular über einen Trenntrafo an den Stepup-Trafo angeschlossen, der den Prüfling über die Tertiärwicklung erregt (Abbildung 1). Die Speisung der Quelle kann dabei, je nach örtlichen Gegebenheiten, über das Netz oder über ein Notstrom-Aggregat erfolgen.

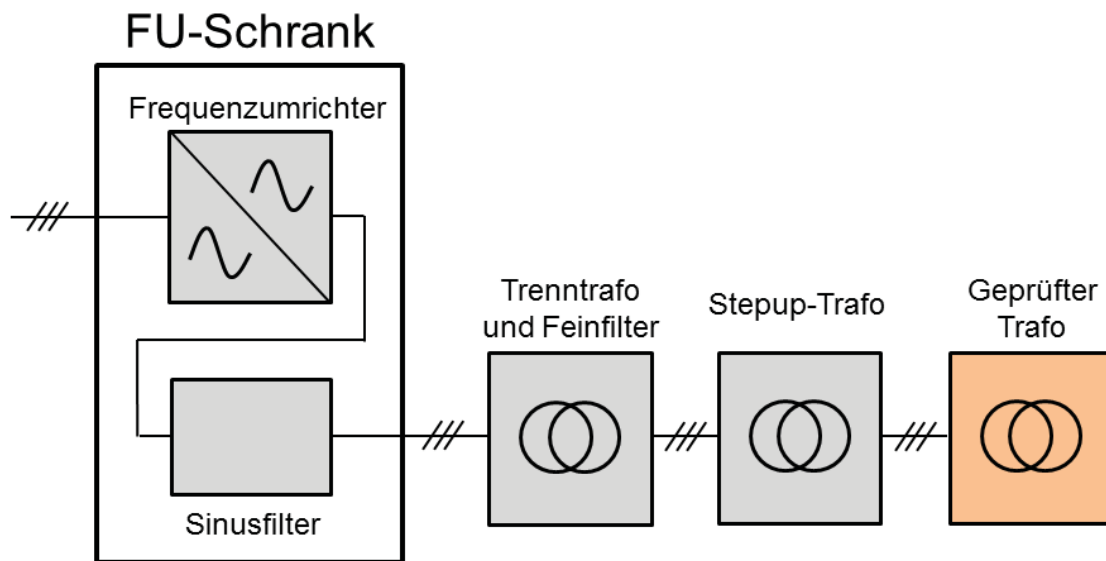


Abbildung 1: Schema der Trafoprüfquelle: Schrank mit Frequenzumrichter und Sinusfilter, danach Trenntrafo und Feinfilter, Step-up-Trafo für induzierte Spannungsprüfung

Die grossen Vorteile der FU-Quelle sind die stufenlos einstellbare Prüffrequenz und die einfach regelbare Prüfspannung. Das Funktionsprinzip des statischen Frequenzumrichters macht allerdings wesentlich komplexere Filtermassnahmen als bei einer rotierenden Quelle nötig. Dies gilt insbesondere dann, wenn bei der Trafo-Prüfung eine hochempfindliche Teilentladungs-Messung zur Diagnose von Isolationsfehlern durchzuführen ist.

Der FU „zerhackt“ die DC-Spannung eines Gleichrichter-gespeisten Zwischenkreises mit Halbleiter-Schaltelementen (IGBT) und liefert so eine pulsweitenmodulierte Ausgangsspannung mit einer der Schaltfrequenz entsprechenden Fundamentalfrequenz. Der Sinusfilter bewirkt eine Tiefpassfilterung der FU-Ausgangsspannung, womit eine nahezu sinusförmige Spannung am Ausgang gemessen wird (Abbildungen 2 und 3).

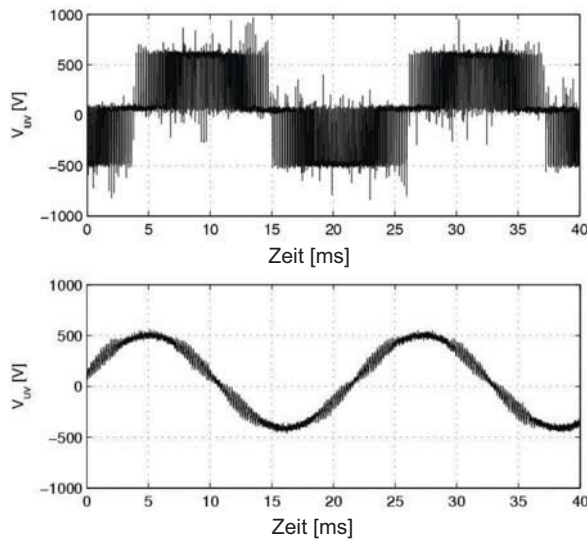


Abbildung 2: FU-Ausgangsspannung mit PWM-Muster ohne Sinusfilter (oben) und mit Sinusfilter (unten)

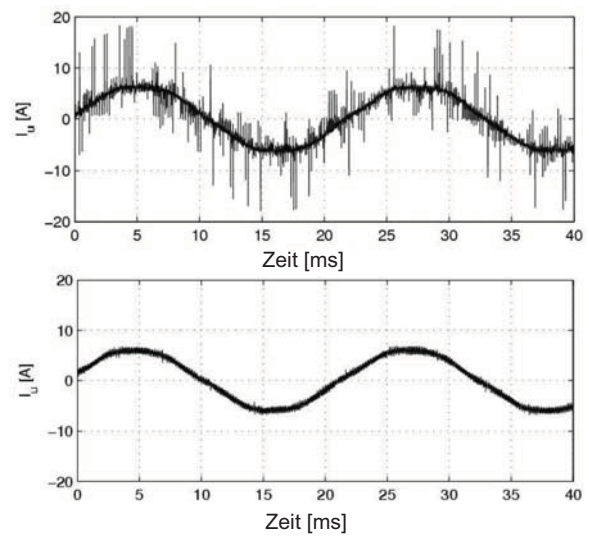


Abbildung 3: FU-Ausgangsstrom ohne Sinusfilter (oben) und mit Sinusfilter (unten)

Die sehr schnellen Schaltzeiten der IGBTs produzieren allerdings Oberwellen mit Frequenzanteilen bis über 10 MHz. Diese EMV-Störungen können sich sowohl leitungs- als auch strahlungsgebunden ausbreiten, in den Teilentladungsmesskreis einkoppeln und zu unzulässig hohen Grundstörpegeln führen. Dies wird mit einer ausreichenden Abschirmung des Umrichters durch den Schaltschrank sowie mit weiteren Filterelementen nach dem Sinusfilter verhindert. Die richtige Konfiguration dieser Filter ist anspruchsvoll und muss mit aufwendigen EMV-Messungen überprüft werden (Abbildung 4).

Bei einem ersten Einsatz vor-Ort wurde die neue Prüfquelle schon für eine induzierte Spannungsprüfung (ohne TE-Messung) eingesetzt (Abbildung 4). Im Jahr 2014 sind weitere Prüfungen geplant.

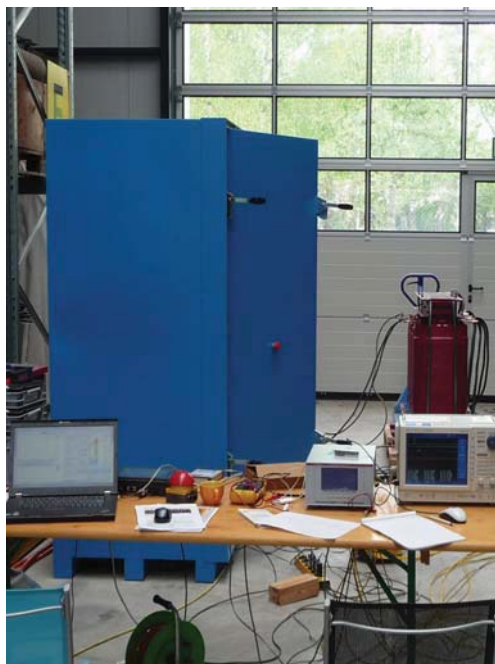


Abbildung 4: EMV-Messungen an der Trafo-Prüfquelle



## 9. Fachveranstaltungen

### 9.1 Fachtagung „Trends bei Hochspannungs-Schaltanlagen“

Am 25. September 2013 hielt die Energietechnische Gesellschaft der Electrosuisse gemeinsam mit der FKH in Baden eine Fachtagung über aktuelle Fragen zu Hochspannungsschaltanlagen ab. Bei diesem Treffen von etwa 150 Fachleuten der Herstellerindustrie und der EVUs wurde auf die Entwicklungen der letzten Jahre und die Zukunftsperspektiven eingegangen.

Die heute realisierten, sehr unterschiedlichen Anlagentypen wurden bezüglich ihrer Vor- und Nachteile bei Planung, Erstellung und Betrieb verglichen. Diskutiert wurden auch Aspekte der Instandhaltung, Erneuerung und der Zustandsdiagnose. Besondere Beachtung fand der letzte Beitrag über eine in Industriebetrieb durchgeführte Forschungsarbeit des Hochspannungslabors der ETH über alternative Isoliergase für gekapselte Schaltanlagen.

| Gehaltene Vorträge im Rahmen der Fachtagung                                 | Referent                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Anforderungen an die zukünftigen Schaltanlagen im Übertragungsnetz          | Philippe H. Meuli,<br>Swissgrid AG, Frick           |
| Von kompakt bis unsichtbar: HS-Anlagen in kompakter Bauweise                | Bernd Ehrich,<br>Siemens AG, Nürnberg               |
| Haben Verteilnetzbetreiber auch einen Nutzen vom Smart Grid?                | Lukas Küng,<br>ewz, Zürich                          |
| Erfahrungen im Umbau von bestehenden Schaltanlagen                          | Emanuel Schneiter,<br>BKW Energie AG, Ostermündigen |
| Einführung: Lebenszyklus der Komponenten                                    | Reinhold Bräunlich,<br>FKH, Zürich                  |
| Asset Management von Schaltanlagen in Zeiten des Wandels                    | Philipp Schütt,<br>Axpo Power AG, Baden             |
| Abnahme- und Diagnoseprüfungen von GIS vor Ort                              | Stefan Neuhold,<br>FKH, Däniken                     |
| Der Schalter als Motor für die Entwicklung neuer Schaltanlagentechnologien  | Martin Kriegel,<br>ABB Schweiz AG, Baden            |
| Benutzer- und designoptimierte GIS-Schaltanlagen                            | Robert Lüscher,<br>ALSTOM Grid AG, Oberentfelden    |
| Alternative Isoliergasmischungen für gekapselte Schaltanlagen: neuer Anlauf | Christian Franck,<br>ETH Zürich                     |

Die Präsentationen und Zusammenfassungen der Beiträge zu dieser Fachtagung sind auf der Internetseite der Energietechnischen Gesellschaft ETG, Electrosuisse einsehbar.

## 10. Zusammenarbeit mit Hochschulen / Nachwuchsförderung

### 10.1 Praktikum

Martin Braunlich, MS Physics, Eugene OR,  
„Polarization behaviour of MU cable samples with different dielectric materials“  
Betreuer: Dr. Vahe Der Houanessian

Szilárd Lipták, Budapest University of Technology and Economics (IAESTE Switzerland)  
„Partial Discharge Measurement on Cable Termination without coupling capacitor“  
Betreuer: Dr. Reinhold Bräunlich, Dr. Thomas Brügger

### 10.2 Diplomarbeit (SS 2013)

Mitbetreuung einer Diplomarbeit der ABB Technikerschule Baden  
Danny Lutz, Özgür Kul: „Einfluss des Phasenabstandes bei Höchstspannungskabel-  
leitungen“  
Betreuer: Dr. Reinhold Bräunlich, FKH

### 10.3 Beiträge zu Lehrveranstaltungen

Vorlesung: „Hochspannungsprüftechnik vor Ort“, ETH Zürich.  
Referent: Dr. Reinhold Bräunlich, 2. Mai 2013



Abbildung 1: IAESTE-Praktikant Szilárd Lipták vor einem Versuchsmodell zur Simulation von elektromagnetischen Ausgleichsvorgängen in Kabelendverschlüssen.



## 11. Teilnahme an Fachveranstaltungen, Referate, Publikationen

### 11.1 Teilnahme an Fachtagungen, Referate

Reinhold Bräunlich

IG Transformatoren Schweiz, organisiert durch die FKH, Däniken, 28. Februar 2013

Reinhold Bräunlich

ETG / Electrosuisse Fachtagung „Instandhaltung von Energieanlagen“, 23. Mai 2013, Luzern

Reinhold Bräunlich

Cigré „Study Committee“, A2 & C4 Joint Colloquium, ETH Zürich, 8. – 14. September 2013

Reinhold Bräunlich

Axpo, Innovationsforum Netze, Baden, Schweiz, 20. September 2013

Reinhold Bräunlich

ETG / Electrosuisse Fachtagung „Cired – Informationsnachmittag, ETH Zürich“, 21. November 2013

Thomas Brügger

„OMICRON Diagnosewoche“, 22. – 26. April 2013, Dornbirn

Thomas Brügger

Cigré-Fachtagung „Elektrische Energiesysteme - Unerlässliche Voraussetzung für eine umweltfreundliche Energiezukunft“, 06. Juni 2013, Olten

Thomas Brügger

VDE/ ABB-Blitzschutztagung, 24. – 25. Oktober 2013, Neu-Ulm

Thomas Brügger

ETG-Fachtagung „Energieeffizienz“, 04. Dezember 2013, Zürich

Maik Koch

Cigré A2 & C4 Joint Colloquium 2013, Vortrag und Paper, M. Koch, M. Lukas „On-Line Monitoring of Electrical Apparatus in Large Power Plants“, 08.-13.09.2013 Zürich

Maik Koch

Diverse Vorträge bei der CEPED Conference on Electrical Power Equipment Diagnostics, (Moisture in Transformers, On-Line Monitoring of Power Transformers, On-Line Monitoring of Rotating Electrical Machines), 29. – 31. Oktober 2013, Bali, Indonesia

Maik Koch

Fachtagung der ETG innerhalb des VDE „Grenzflächen in elektrischen Isoliersystemen“, 12.-13. November 2013, Dresden

Hans-Josef Knab

IEC TC10 MT20: Revision of IEC 60599 („Interpretation of DGA results“), Kopenhagen 6. bis 8. Mai 2013

Hans-Josef Knab

3. Meeting of Cigre WG 47 "Joint Working Group D1/A2 (Review progress in the field of GDA - Significance of CO/CO<sub>2</sub> paper involvement in degregation)", Kopenhagen 6. bis 8. Mai 2013

Stefan Neuhold

ETG/ FKH-Fachtagung „Trends bei HS-Schaltanlagen“, Referent, September 2013, Baden

Günther Storf

ETG / Electrosuisse Fachtagung „Cired – Informationsnachmittag, ETH Zürich“, 21. November 2013

## 11.2 Publikationen

R. Bräunlich

„Streuströme in landwirtschaftlichen Tierhaltungsbetrieben, Mechanismen und Auswirkungen“, Eingereicht zur Publikation gemeinsam mit dem Technischen Komitee „Erdungen“ des CES, Bulletin Electrosuisse/ SEV, 3/2014, Seite 54ff

J. Fuhr, L. Eggimann, M. Zbinden, Th. Graenicher, Th. Heizmann, P. Fehlmann, R. Bräunlich, M. Haessig

„Fingerprints for Condition Based Maintenance on Power Transformers“, Joint Colloquium Cigré A2 & C4, 2013

Th. Aschwanden, M. Aeberhard, R. Bräunlich

„Hochspannungstechnik beim Aufbau des Bahnstromnetzes in der Schweiz“, Teil 1, Elektrische Bahnen, Heft 11, 111 (2013), Seiten 634ff

Th. Aschwanden, M. Aeberhard, R. Bräunlich

„Hochspannungstechnik beim Aufbau des Bahnstromnetzes in der Schweiz“, Teil 2, Elektrische Bahnen, Heft 12, 111 (2013), Seiten 764ff

M. Koch, M. Lukas

Cigré A2 & C4 Joint Colloquium 2013, Vortrag und Paper, „On-Line Monitoring of Electrical Apparatus in Large Power Plants“, 08.-13.09.2013 Zürich

S.M. Neuhold

„Abnahme- und Diagnoseprüfungen von GIS vor Ort – Essenzen und Trends, ETG/ FKH-Fachtagung „Trends bei HS-Schaltanlagen“, September 2013, Baden

## 12. Mitgliedschaft / Mitarbeit in Fachgremien und Kommissionen

Die FKH ist bei folgenden Institutionen als Mitglied eingetragen:

### **Electrosuisse**

Institutionelles Mitglied bei Electrosuisse

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

Korrespondierendes Mitglied bei der FGH.

### **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 "Erdungssysteme"**

Mitglied: Günther Storf (Vorsitzender)

### **CES electrosuisse TK 2: "Elektrische Maschinen"**

Mitglied: Thomas Brügger

### **CES electrosuisse TK 10: "Flüssigkeiten für elektrotechnische Anwendungen"**

Mitglied: Hans-Josef Knab

### **CES/ SEV electrosuisse TK 10: "HS-Isolierungen"**

Mitglied: Maik Koch

### **CES electrosuisse TK 14: "Transformatoren"**

Mitglied: Pascal Fehlmann

### **CES electrosuisse TK 20: "Elektrische Kabel"**

Mitglied: Günther Storf, Mario Gobeli

### **CES electrosuisse TK 38, WG 1: "Messwandler, Ferroresonanz"**

Mitglied: Reinhold Bräunlich

### **CES electrosuisse TK 42: "Hochspannungs- und Hochstrom-Prüftechnik"**

Mitglied: Reinhold Bräunlich

### **CIGRE TF D1.01.13: "Furans for diagnostics"**

Mitglied: Hans-Josef Knab

### **CIGRE WG A2.44: „Intelligent Transformer Monitoring“**

Mitglied: Maik Koch

### **CIGRE WG D1.01.15: „DGA in non-mineral oils, load tap changers and other topics“**

Mitglied: Hans-Josef Knab

### **CIGRE WG D1.25: „Review of UHF and acoustic PD detection on GIS“**

Mitglied: Stefan Neuhold

**CIGRE WG D1.28: „Optimized Gas-insulated Systems by Advanced Dielectric Coatings and Functionally Graded Materials“**

Mitglied: Stefan Neuhold

**CIGRE WG D1.47: „Improvements of DGA“**

Mitglied: Maik Koch

**CIGRE WG D1.55: „Partial discharge detection under DC Stress“**

Mitglied: Stefan Neuhold

**DKE (VDE/DIN) als Gast im K182: "Flüssigkeiten und Gase für elektrotechnische Anwendung"**

Mitglied: Hans-Josef Knab

**IEC TC10 MT20: „Interpretation of Dissolved and Free Gases Analysis“**

Mitglied: Maik Koch

**IEC TC 10 WG 21: IEC 62701 “Reprocessed mineral insulating oils – Re-refined oils and reclaimed mineral oils for transformers and switchgear”**

Mitglied: Hans-Josef Knab

**IEEE WG: „Guide on Dielectric Frequency Response“**

Mitglied: Maik Koch

**IEC TC 10 Maintenance Teams: MT 20, MT 21, MT 22, MT 24, MT 25, MT 30**

Mitglied: Hans-Josef Knab

**VDE ETG Q2 "Werkstoffe, Isoliersysteme und Diagnostik"**

Mitglied: Maik Koch (stellv. Leiter)

## 13. FKH-Mitglieder

### 13.1 Verbände

**Electrosuisse**

8320 Fehraltorf

**Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE)**

5001 Aarau

### 13.2 Werksmitglieder

**Aare Energie AG**

4601 Olten

**Energie-Service Biel/Bienne**

2504 Biel

**AEW ENERGIE AG**

5001 Aarau

**Energie Wasser Bern**

3001 Bern

**AG Kraftwerk Wägital**

8854 Siebnen

**ewl energie wasser luzern**

6002 Luzern

**Alpiq EnerTrans AG**

5013 Niedergösgen

**GROUPE E SA**

1701 Fribourg

**Axpo Power AG**

5401 Baden

**IBAAarau Strom AG**

5001 Aarau

**Azienda Elettrica Ticinese**

6501 Bellinzona

**Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG**

4658 Däniken

**Aziende Industriali della città di Lugano**

6901 Lugano

**Kraftwerke Hinterrhein AG**

7430 Thusis

**BKW Energie AG**

3013 Bern

**Kraftwerke Oberhasli AG**

3862 Innertkirchen

**CKW AG**

6002 Luzern

**onyx Energie Netze**

4901 Langenthal

**EBM Netz AG**

4142 Münchenstein

**Sankt Galler Stadtwerke**

9001 St. Gallen

**EKT AG**

9320 Arbon

**SBB Energie**

3052 Zollikofen

**Elektrizitätswerk der Stadt Zürich**

8050 Zürich

**Service de l'Electricité de la Ville de Lausanne**

1000 Lausanne 9

**Elektrizitätswerke des Kantons Zürich**

8022 Zürich

**Services Industriels de Genève SIG**

1211 Genève 2

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

**Stadtwerk Winterthur**  
8402 Winterthur

**Verzasca SA**  
6901 Lugano

### 13.3 Industriemitglieder, Ingenieurbüros und weitere Mitglieder

**ABB Schweiz AG**  
8050 Zürich

**Haefely Test AG**  
4052 Basel

**ABB Sécheron SA**  
1211 Genève 2

**LEONI Studer AG**  
4658 Däniken

**Agea - Kull AG**  
4552 Derendingen

**Maxwell Technologies SA**  
1728 Rossens

**Alpha Elektrotechnik AG**  
2560 Nidau

**Mohaupt High Voltage GmbH**  
A- 6142 Mieders

**ALSTOM Grid AG**  
5036 Oberentfelden

**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 Ixosil AG**  
6460 Altdorf

**Cellpack Power Systems AG**  
5612 Villmergen

**Pöyry Energy AG**  
8037 Zürich

**EA Elektroarmaturen AG**  
8200 Schaffhausen

**Retranol GmbH**  
8810 Horgen

**EcoWatt Projects AG**  
8852 Altendorf

**Siemens Schweiz AG**  
8047 Zürich

**Eidgenössisches  
Starkstrominspektorat**  
8320 Fehraltorf

**Weidmann Electrical Technology AG**  
8640 Rapperswil



### 13.4 Korrespondierende Mitglieder

**Berner Fachhochschule**

3400 Burgdorf

**Ecole d'Ingénieurs de l'Etat de Vaud**

1400 Yverdon-les-Bains

**Ecole d'Ingénieurs et d'Architectes  
de Fribourg**

1705 Fribourg

**Ecole Polytechnique Fédérale de  
Lausanne**

1015 Lausanne

**Eidgenössische Technische  
Hochschule Zürich**
**FG Hochspannungstechnologie**  
8092 Zürich

**Forschungsgemeinschaft für**
**Hochspannungs- und  
Hochstromtechnik E.V.**

D-68201 Mannheim

**Haute Ecole Valaisanne**

1950 Sion

**Hochschule für Technik + Architektur  
Chur**

7000 Chur

**Zürcher Hochschule für Angewandte  
Wissenschaften ZHAW**

8401 Winterthur

### 13.5 Mitgliederbestand per 31.12.2013

|                                                            |           |             |
|------------------------------------------------------------|-----------|-------------|
| Verbände                                                   | 2         | (2)         |
| Werksmitglieder                                            | 29        | (33)        |
| Industriemitglieder, Ingenieurbüros und weitere Mitglieder | 24        | (23)        |
| Korrespondierende Mitglieder                               | 9         | (9)         |
| <b>Total Mitglieder per 31. Dezember 2013</b>              | <b>64</b> | <b>(67)</b> |
| (Stand per 31.12.2012 in Klammern)                         |           |             |

## 14. Informationsbroschüren der FKH

- FKH Portrait d/f/e
- Leistungstransformator-Diagnose/  
Diagnostic de transformateurs de puissance /  
Diagnosis of power transformers
- Kabelprüfungen und Kabeldiagnose vor Ort /  
Essais de câbles et essais diagnostiques sur site /  
On-site cable testing and diagnosis
- Erdungsmessungen in Unterwerken und Kraftwerken /  
Mesure de mise à la terre des sous-stations et des centrales /  
Grounding measurements in substations and power plants
- Prüfungen von gasisolierten Schaltanlagen /  
Essais de postes sous enveloppe métallique (PSEM) /  
Testing of gas insulated switchgear
- Isolierölanalysen /  
Analyses d'huile d'isolation /  
Insulating oil analysis
- Literaturrecherche

Die Broschüren werden auf Wunsch zugestellt.

## 15. Zufahrtspläne für die FKH-Standorte

### 15.1 FKH-Geschäftsstelle, Voltastrasse 9, 8044 Zürich



### 15.2 FKH-Versuchsstation und –Isolieröllabor, 4658 Däniken

