



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

# Jahresbericht

# 2025





*Bild Titelseite: Vor-Ort-Prüfung der 245-kV-GIS  
in Mörel*

*Bild links: Hochspannungsprüfung mit Teilent-  
ladungsmessung des 145-kV-Hivoduct-Druck-  
luftkabels im UW Volta*

# Inhalt

Vorwort des Präsidenten und der Geschäftsleitung	4	FKH-Fachtagung 2025 –	
Struktur und Leitbild der FKH	6	«Messtechnische Zustandsbeurteilung von Betriebsmitteln in Schaltanlagen und Kraftwerken»	52
FKH-Vorstand	7	Zusammenarbeit mit Hochschulen / Nachwuchsförderung	54
FKH-Geschäftsstelle	8	Teilnahme an Fachveranstaltungen, Referate, Publikationen	55
Dienstleistungen der FKH	9	Mitgliedschaft / Mitarbeit in Fachgremien und Kommissionen	56
Auftragsarbeiten und statistische Übersicht	10	FKH-Mitglieder	58
Wie funktioniert eine Erdungsmessung nach der Strom-Spannungs-Methode?	12	Zufahrtspläne für die FKH-Standorte	62
Gashandling und Gasanalysen von alternativen Isoliergasen	15		
Typenprüfung an Druckluftkabeln in der neuen FKH-Prüfhalle in Niedergösgen	18		
Entwicklungsprüfungen mit dem mobilen modularen Stossgenerator in der FKH-Prüfhalle	21		
Aufbau einer neuen Prüfquelle für schwer zugängliche Transformatoren	24		
Netzanalyse im Zuge der Erneuerung der Schaltanlage zur Versorgung des Lichtbogenofens der Steeltec Emmenbrücke	26		
Fehlersuche bei einer Hochspannungsanlage zur Detektion von Schwachstellen in Lastwagenreifen	35		
FKH-Labor für Isolierölanalysen	37		
Untersuchungen zum Teilentladungsverhalten in umweltfreundlichen Isoliergasen	38		
Wissen nutzbar machen – wie die FKH ihren Know-how-Pool öffnet	42		
Open-Source-Freeware-Programm HVLBuzz 2	48		

# Vorwort des Präsidenten und der Geschäftsleitung

## Trends in der Energiebranche

Pläne für Grossbatteriespeicher, der Bau von Datacentern als einer neuen Klasse von Grossverbrauchern und eine weitere Zunahme von volatilen Stromerzeugern – insbesondere städtischen und allmählich vermehrt alpinen Solaranlagen – schrauben die Erwartungen an die Leistungsfähigkeit der zukünftigen Schweizer Übertragungs- und Verteilnetze weiter in die Höhe. Diese Trends summieren sich mit den bestehenden Trends hin zu verstärkter Elektromobilität und Elektrifizierung von Heizungen. Ein Nachlassen dieser Trends in den nächsten Jahren ist nicht absehbar und Netzbetreiber europaweit sprechen von einer notwendigen Verdopplung der Netzkapazitäten innerhalb der nächsten Dekade.

Der angestrebte beschleunigte Netzausbau zeigt sich direkt in einem Anstieg der Projekte bei unseren Mitgliedern zum Neubau von Hoch- und Mittelspannungskabeln und Übertragungsfreileitungen, zur Spannungsumstellung an bestehenden Leitungen und dem Bau neuer Unterwerke. Auch die Erneuerung von bestehenden Unterwerken oder die Ertüchtigung bestehender Assets sind wichtige Elemente im Netzausbau. Dies wirkt sich direkt steigernd auf den Umfang der von ihren Mitgliedern bei der FKH angefragten Dienstleistungen aus. So ist in diesem Jahr bei der FKH ein nochmals um ca. 10% oder 518 k CHF höherer Umsatz im Vergleich zum Vorjahr entstanden, der sich auf 215 Projekte verteilt. Für die FKH steht die Unterstützung **ihrer Mitglieder** bei ihren jeweiligen Netzausbauprojekten an erster Stelle. Entsprechend hat im Jahr 2025 der Anteil an Prüfungen für FKH-Mitglieder im Vergleich zu Prüfungen für Nichtmitglieder nochmals deutlich zugenommen. Es ist zu beobachten, dass SF<sub>6</sub>-freie Schaltanlagen unterdessen in den Produktportfolios aller namhaften Hersteller zu finden sind. Die Kernkompetenz der FKH zur Hochspannungsprüfung vor Ort und zur Fehlerlokalisierung mittels hochsensitiver Teilentladungsmessung ist auch für die neuen, umweltfreundlichen Betriebsmittel von zentraler Bedeutung. Entsprechend intensiv widmet sich die FKH mit Grundlagenuntersuchungen im Rahmen der CIGRE WG D1.78 wie auch

im Rahmen von nun immer häufiger stattfindenden Abnahmemessungen an Schaltanlagen mit alternativen Isoliergasen dem Aufbau praktischer Erfahrung für die Beurteilung SF<sub>6</sub>-freier Betriebsmitteltypen.

Die Möglichkeiten zur KI-unterstützten Zustandsbeurteilung von Betriebsmitteln werden aktiv diskutiert und in Pilotprojekten durch Netzbetreiber evaluiert. Bisher treiben Netzbetreiber in erster Linie die Vernetzung und Zugänglichkeit ihrer Betriebsmitteldaten voran. Ein daraus erzeugbarer quantitativer Nutzen – z.B. ob durch gezieltere Wartung eine Reduktion der Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls von Betriebsmitteln erreicht wird – muss im Einzelfall erst noch nachgewiesen werden. Die Kombination aus sensitiven Abnahmeprüfungen vor der Inbetriebnahme und klassischen Überwachungsmethoden anhand von Ölproben bei Grosstransformatoren ist ein wesentliches Element zur Sicherstellung einer hohen Lebensdauer und einer tiefen Ausfallwahrscheinlichkeit.

## Personelle Veränderungen

Der ausreichend schnelle Personalaufbau zur Bewältigung der gestiegenen Mitgliederbedürfnisse ist für die FKH durchaus herausfordernd. Zur Sicherstellung einer gleichbleibend hohen Qualität der Prüfungen und Diagnosen wird neuen Ingenieuren und Mechanikern die Möglichkeit der internen Ausbildung zur Verfügung gestellt, bis ihnen eigene Projekte übertragen werden können. Im Jahr 2025 hat die FKH drei Personen eingestellt und eine Person hat die FKH verlassen. Im März ist Eduard Tănase als Prüfingenieur zu uns gestossen, als Ersatz für Ivan Barcan. Für die FKH hat er bereits zahlreiche Laborprüfungen erfolgreich durchgeführt und wird in den Bereich Kabelprüfungen eingearbeitet. Dr. Henning Janssen wechselte im Mai von der ETH Zürich als Prüfingenieur zur FKH. Er wurde bereits für GIS-Prüfungen und Messungen an alternativen Isoliergasen eingesetzt und arbeitet sich aktuell in den Bereich Trafoprüfungen ein. Im September konnten wir mit Dragan Dragicevic einen zusätzlichen Mechaniker einstellen und haben ihn bereits in zahlreichen Vor-Ort-Projekten einsetzen können. Das Jahr 2025 hat gezeigt, dass durch die

weggefallenen Stellenprozente nach der Pensionierung von Dr. Thomas Heizmann das Öllabor personell wieder breiter aufgestellt werden muss. Per Februar 2026 haben wir mit Patrick Neuhaus einen zusätzlichen Chemielaboranten gefunden, der zukünftig den Laborleiter Peter Frey und die Chemielaborantin Franziska Schenker unterstützen wird.

### Strategischer Fokus der FKH

Trotz der hohen Anzahl an Vor-Ort-Projekten konnte die FKH auch im Bereich der definierten Langfrist-Strategieziele weitere Schritte vorwärtskommen.

Ergänzend zum Personalaufbau wurden zusätzliche Frequenzumrichterquellen, Step-up-Transformatoren, Teilentladungsmesskanäle und akustische Koronakameras beschafft, um besser Parallelprüfungen an verschiedenen Standorten durchführen zu können. Die Einarbeitung der Ingenieure in zusätzliche Messgebiete wurde verstärkt, um das Know-how auf mehr Wissensträger abzustützen. Intern wurden Optimierungen an Tools und Prozessen kontinuierlich vorgenommen. Nur mit der Summe dieser Massnahmen kann die FKH dem steigenden Prüfbedarf mittelfristig gerecht werden.

Der in der letzten Mitgliederversammlung eingeführte Forschungsfonds wurde in diesem Jahr grösstenteils für die Untersuchungen von Fehlerstellen in alternativen Isoliergasen im Rahmen der CIGRE WG D1.78 eingesetzt. Zudem wurde die NET<sup>2</sup>-Konferenz in Zürich für Studierende der NTNU Trondheim, der TU Darmstadt, der TU Graz und der ETH Zürich unterstützt. Für experimentelle Versuche in Niedergösgen wurden wieder zwei IAESTE-Praktikanten eingesetzt.

Die FKH hat sich intensiv mit dem Thema Prüfung langer Kabel auseinandergesetzt und Optionen für grössere Resonanzdrosseln diskutiert und verglichen. Um den kurzfristigen Mehrbedarf für vermehrt parallel stattfindende Kabelprüfungen an verschiedenen Orten abzudecken und zur Verbesserung der Redundanz hat sich die FKH entschieden, zunächst drei zusätzliche der bewährten 80-H-Drosseln von agea-kull zu beschaffen.

Die Auseinandersetzung mit den neuen Möglichkeiten, welche KI bietet, fand unter anderem im Rahmen einer Studentenarbeit in Zusammenarbeit mit der Firma BSI statt. Die FKH entwickelte einen Chatbot und trainierte ihn mit über 75'000 gesammelten Dokumenten aus dem Bereich Hochspannung. Ein weiterer IAESTE-Praktikant durfte hierbei praktische Erfahrung bei der FKH sammeln.

Die neue Hochspannungsprüfhalle ist auf gutem Weg, sich in der Branche zu etablieren. Im Jahr 2025 wurden Bahnkomponenten, GIS-Leistungsschalter mit Vakuumtechnologie und mit C4-FN-Mischungen, gasisolierte Leitungen, Kabel und Wandler in den FKH-Laboren geprüft.

### Zusammenarbeit mit Mitgliedern

Die FKH möchte sich insbesondere bei den Projektleitern und beim Personal der Mitglieder vor Ort in den jeweiligen Unterwerken oder Leitungen für die gute Zusammenarbeit bei unzähligen Projekten bedanken. Wir schätzen auch den technischen Austausch mit Ihnen vor Ort, aber auch im Rahmen der Fachtagung, bei den Austauschforen Erfahrungsaustausch GIS (EAG), IG-Trafo und IG-Generatoren, sowie in CIGRE- und IEC-Arbeitsgruppen sehr. Gerne nehmen wir uns auch die Zeit für Ihre Fragen, Ideen und Anregungen, um Sie zukünftig noch besser in der anstehenden Energiewende zu beraten und mit Prüfungen zu unterstützen.



*Christian Lindner*

**Christian Lindner**  
Präsident



*Michael Walter*

**Dr. Michael Walter**  
Geschäftsleiter

# Struktur und Leitbild der FKH

## Struktur der FKH



Abbildung 1: Struktur der FKH

## FKH-Leitbild

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

Die **Ziele** der FKH sind seit der Gründung 1937 **ausschliesslich technischer Natur**. Die FKH verfolgt keine eigenwirtschaftlichen Ziele. Die finanziellen Mittel des Vereins dürfen nur für statutenkonforme Zwecke verwendet werden. Durch Eigenentwicklung auf dem Gebiet der Prüf- und Messtechnik, wissenschaftliche Publikationen und aktive Mitarbeit in internationalen **Normen- und**

**Fachgremien** trägt die FKH global zur **Weiterentwicklung der Prüfmethodik** bei. Durch die Organisation von Fachtagungen und **Erfahrungsaustauschplattformen** fördert die FKH den Wissenstransfer über neue wissenschaftliche Erkenntnisse und praktische Erfahrungen in der Schweiz. Durch aktive Kontakte zur ETH Zürich, zur ETH Lausanne sowie zu den Fachhochschulen und durch die Beteiligung an der Forschung leistet sie einen Beitrag zur Förderung der Attraktivität der energietechnischen Disziplinen und übt eine **Brückenfunktion zwischen** den **schweizerischen Hochschulen** und den **Unternehmungen der Elektroenergie-technik** aus.

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

Die FKH setzt sich aus einem erfahrenen, eingespielten **Team von Prüf- und Messexperten** zusammen, welches bei Bedarf **kurze Reaktionszeiten** ermöglicht und auch **komplexe Prüfkampagnen** realisieren kann. Die FKH ist in der Lage, das Gesamtpaket von Beratung zu Prüfkriterien, Planung bis zur Durchführung der Prüfung mit **eigenen Prüf- und Messmitteln** anzubieten.

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

# FKH-Vorstand

## Präsident

**Christian Lindner** | Axpo Grid AG

---

## Vizepräsident

**Adrian Häsler** | Swissgrid AG

---

## Mitglieder

**Björn Avak** | Electrosuisse (ab 22.5.2025)

**Yves-André Bagnoud** | Service Industriels Lausanne

**Jürgen Bernauer** | Pfiffner Messwandler AG

**Frank Brodbeck** | Brugg Kabel AG

**Anja Burkhard** | Hitachi Energy Switzerland AG

**Andri Casura** | Elektrizitätswerk der Stadt Zürich

**Andreas Degen** | Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Prof. Dr. Drazen Dujic** | École Polytechnique Fédérale de Lausanne

**Prof. Dr. Christian Franck** | Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

**Prof. Dominique Rolle** | École d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg

**Daniel Riesen** | BKW Energie AG

**René Vollenwyder** | Schweizerische Bundesbahnen AG

**Dr. Michael Walter** | FKH<sup>1</sup>

---

## Kontrollstelle

**Bruno Dübendorfer** | Elektrizitätswerk des Kantons Zürich

**Ajdin Draganovic** | Elektrizitätswerk der Stadt Zürich

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

# FKH-Geschäftsstelle

<b>Geschäftsleiter</b>	<b>Dr. Michael Walter</b> , Dr. sc. ETH	walter@fkh.ch
<b>Stellvertreter</b>	<b>Dr. Vahe Der Houhanessian</b> , Dr. sc. techn. ETH <b>Martina Müller</b> , MSc ETH ETIT	houhanessian@fkh.ch mueller@fkh.ch
<b>Sekretariat</b>	<b>Saskia Muraro</b>	muraro@fkh.ch
<b>Mitarbeiter</b>	<b>Philippe Alff</b> , MSc ETH ETIT <b>Gunnar Andrae</b> , M. Eng. Dipl. Ing. (FH) <b>Glenn Behrmann</b> , B.S.E.E. Union College <b>Dr. Reinhold Bräunlich</b> , Dr. sc. techn. ETH <b>Dragan Dragicevic</b> , Mechaniker (ab 8.12.2025) <b>Tobias Felber</b> , Netzelektriker <b>Peter Frey</b> , Leiter Isolieröllabor <b>Diego Friedli</b> , MSc Eng. HES-SO <b>Mario Gobeli</b> , El.-Ing. FH <b>Dr. Henning Janssen</b> , Dr.-Ing. (ab 6.5.2025) <b>Dominic Kleger</b> , BSc El.-Ing. FH <b>Christian Lawnik</b> , M. Eng. HTW Berlin <b>Adamo Mele</b> , Elektromechaniker <b>Dr. Henrik Menne</b> , Dr. sc. ETH <b>Simon Mutter</b> , Energieelektroniker <b>Patrick Neuhaus</b> , Laborant EFZ Chemie (ab 1.2.2026) <b>Dr. Stefan Neuhold</b> , Dr. sc. techn. ETH <b>Basil Peter</b> , Polymechaniker <b>Eduard Tănase</b> , MSc ETIT, Projektleiter (ab 1.3.2025) <b>Franziska Schenker</b> , Chemielaborantin <b>Markus von Arx</b> , Elektromonteur <b>Toni von Deschwanden</b> , Elektromechaniker	alff@fkh.ch andrae@fkh.ch behrmann@fkh.ch braeunlich@fkh.ch dragicevic@fkh.ch felber@fkh.ch frey@fkh.ch friedli@fkh.ch gobeli@fkh.ch janssen@fkh.ch kleger@fkh.ch lawnik@fkh.ch mele@fkh.ch menne@fkh.ch mutter@fkh.ch neuhaus@fkh.ch neuhold@fkh.ch peter@fkh.ch tanase@fkh.ch schenker@fkh.ch vonarx@fkh.ch deschwanden@fkh.ch
<b>Betriebsstätten</b>	<b>FKH-Geschäftssitz</b> Hagenholzstrasse 81, 8050 Zürich	Tel. 044 253 62 62
	<b>FKH-Versuchsstation</b> Andresenschachen 10, 5013 Niedergösgen	Tel. 062 288 77 95
	<b>FKH-Labor für Isolierölanalysen</b> Andresenschachen 10, 5013 Niedergösgen	Tel. 062 288 77 99
<b>Kontakt Westschweiz</b>	<b>Diego Friedli</b>	M 079 275 91 50 friedli@fkh.ch
<b>Internet</b>	<b>www.fkh.ch</b>	

# 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 Niedergösgen ausgeführt werden.

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

Folgende Dienstleistungen bietet die FKH an:

The infographic consists of a vertical grey line with six blue circular nodes. Each node contains an icon and is connected to a text box on the right. The icons are: a lightning bolt, a house with a lightning bolt, a test tube, a ground symbol, a bar chart, and an open book.

- 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 Grosslabor**  
 Hoch- und Mittelspannungskomponenten
  - Wechselspannungsprüfung mit TE-Messung
  - Stossspannungsprüfung
- Isolierölanalysen**  
 Dielektrisch-chemische Analysen  
 Chromatografische und spektroskopische Analysen
  - Zersetzungsgasanalysen
  - Furanalysen
  - FTIR-Spektralanalysen
- Erdungs-, Umwelt- und Netzfragen**  
 Erdungsmessungen/Berechnungen  
 EMF-/EMV-Messungen und Berechnungen  
 Schall- und Vibrationsmessungen  
 Netzqualitäts- und Netztransientenmessungen und Berechnungen
- 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 2025 insgesamt 215 (217) elektrotechnische Auftragsarbeiten und 179 (157) Aufträge für Isolierölanalysen mit total 2177 (1808) Proben für FKH-Mitglieder und Dritte ausgeführt. Es wurde ein Umsatz gemäss Tabelle 1 bzw. Abbildung 1 erzielt. Vorjahreswerte sind in Klammern zum Vergleich angegeben.

Erlös aus Auftragsarbeiten für FKH-Mitglieder*	CHF	4'625'612	(3'947'182)
Erlös aus Auftragsarbeiten für Nichtmitglieder	CHF	829'504	(903'649)
Erlös aus Auftragsarbeiten	CHF	5'455'116	(4'962'412)
Nebenerlöse (inkl. Fachtagung)	CHF	87'744	(65'337)
Mitgliederbeiträge	CHF	319'800	(317'200)
<b>Total gemäss FKH-Erfolgsrechnung 2025</b>	<b>CHF</b>	<b>5'862'660</b>	<b>(5'344'950)</b>

Abbildung 1: Erlös aus Auftragsarbeiten (Vorjahr in Klammern)

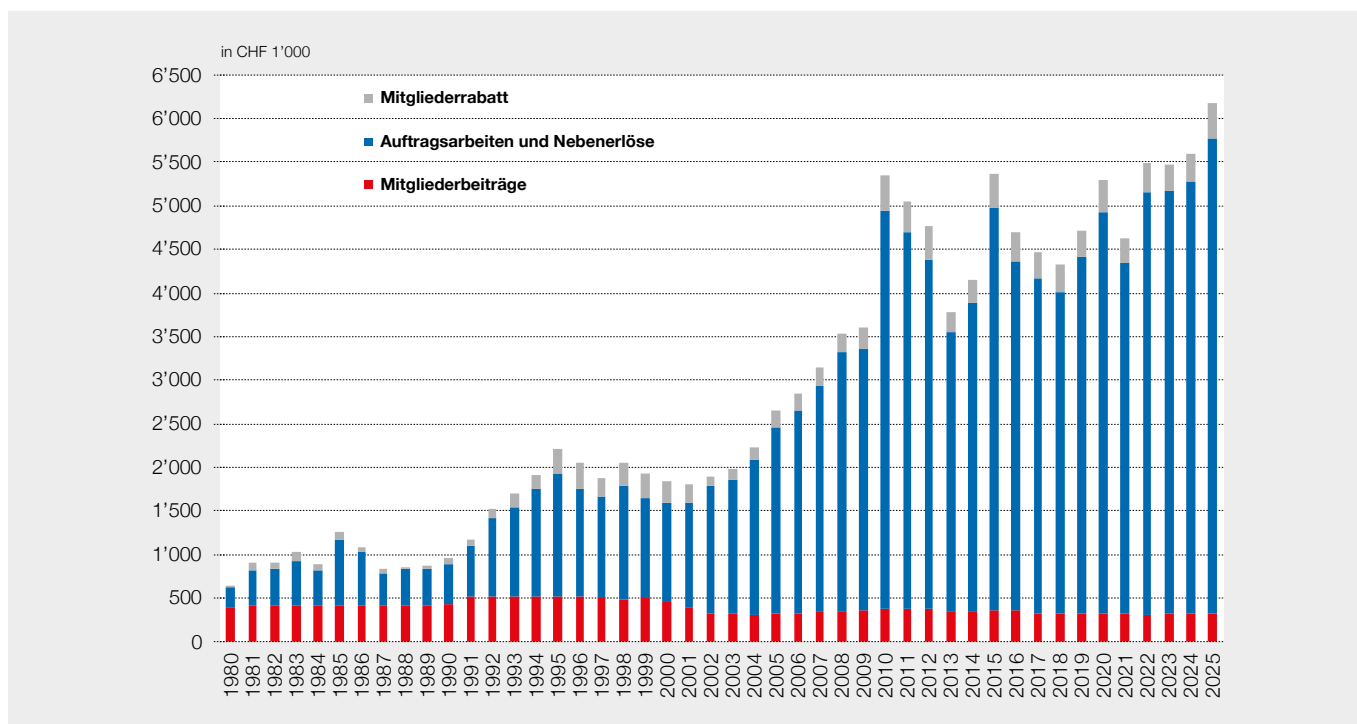


Abbildung 1: Erlös aus Auftragsarbeiten und Mitgliederbeiträgen im Zeitraum von 1980–2025

\* Nettoerlös, 10% Mitgliederrabatt abgezogen

Die Auftragstätigkeit der FKH-Arbeitsgruppe für Mitglieder und Dritte im Berichtsjahr 2025 kann folgenden Gebieten zugeordnet werden (Tabelle 2 und Abbildung 2 prozentuale Verteilung bezogen auf den erzielten Nettoerlös nach Abzug der Mitgliederrabatte):

Prüfung von Hochspannungskabelanlagen	35,2%	(33,5%)
Isolierölanalysen	18,1%	(18,1%)
Prüfung von Transformatoren	9,4%	(15,3%)
Prüfung von GIS und Schaltanlagen	23,2%	(16,6%)
Erdungsmessungen / Nachweis von Blitzschutzmassnahmen	4,8%	(6,0%)
Prüfung von Hochspannungsapparaten und Generatoren	0,0%	(0,7%)
Forschungs- und Entwicklungsarbeiten	0,3%	(0,4%)
Typenprüfungen / Spezialversuche	6,0%	(3,0%)
Beratungs- und Betreuungsaufgaben	2,4%	(6,0%)
Umweltfragen / EMF / Korona / EMV / Transiente Vorgänge	0,5%	(0,4%)

Tabelle 2: Prozentuale Verteilung der Auftragsarbeiten im Jahr 2025, nach Dienstleistungssparten aufgeschlüsselt (Vorjahr in Klammern)

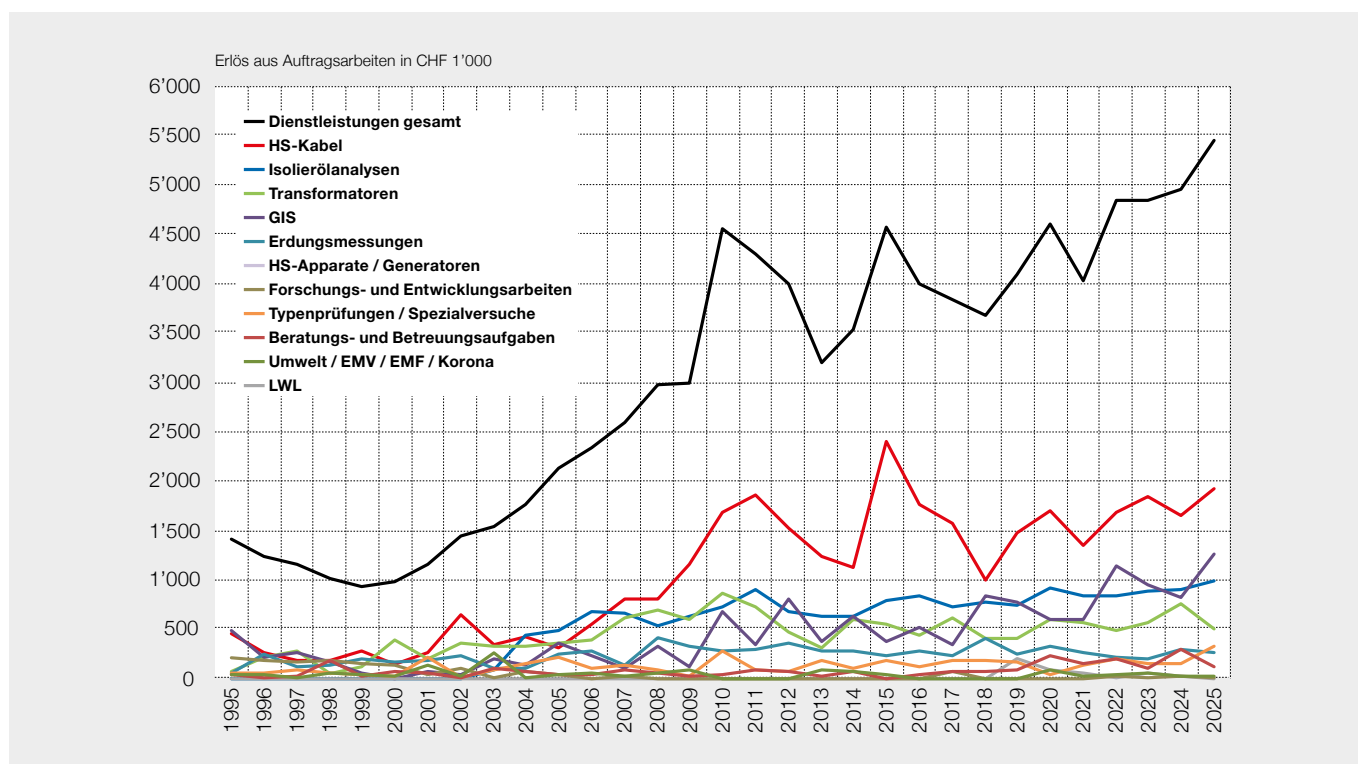


Abbildung 2: Entwicklung des Erlöses aus Auftragsarbeiten nach einzelnen Dienstleistungssparten (in CHF 1'000) über den Zeitraum von 1995–2025

# Wie funktioniert eine Erdungsmessung nach der Strom-Spannungs-Methode?

Um die Personen- und Anlagensicherheit zu beurteilen, führt die FKH Erdungsmessungen nach der Strom-Spannungs-Methode an Unterwerken und anderen Starkstromanlagen durch. Das mobile Messsystem wurde in den letzten Jahren kontinuierlich verbessert und erneuert.

Bei der Strom-Spannungs-Methode wird ein Erdschlussstrom durch einen mobilen 42-kVA-Frequenzumformer erzeugt und in eine definierte Erdschlusschleife eingespeist, welche die zu beurteilende Erdungsanlage einschliesst. Nach Möglichkeit wird dafür eine ausser Betrieb stehende Freileitung oder Kabelleitung verwendet, die in der Gegenstation geerdet wird. Kann die Stromquelle nicht beim zu untersuchenden Unterwerk aufgestellt werden, besteht die Möglichkeit der Einspeisung auf der Gegenseite. Je nach Leitungsimpedanz beträgt der eingespeiste Strom  $I_E = 70 \text{ A} - 150 \text{ A}$ .

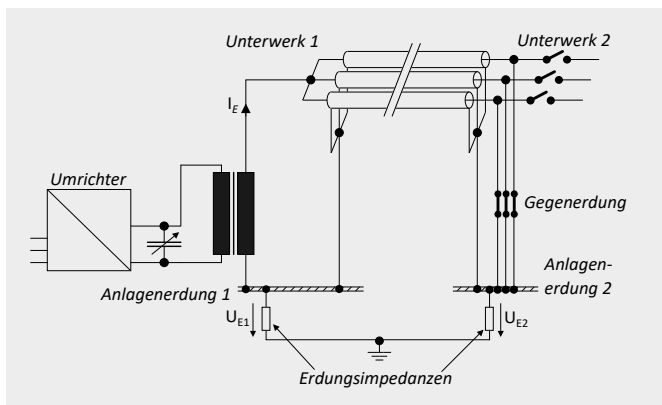


Abbildung 1: Schema Messung nach der Strom-Spannungs-Methode

Durch den Strom zwischen den Erdungssystemen des untersuchten Unterwerks und der Station mit der Gegenerdung nehmen die beiden Erdungssysteme die Erdungsspannungen  $U_{E1}$  bzw.  $U_{E2}$  gegenüber einer weit entfernten Neutralerde an. Diese erlauben die Messung der Einwirkspannungen und die Bestimmung der Stromverteilung. Alle Messergebnisse werden auf den maximalen Erdschlussstrom der untersuchten Anlage hochgerechnet.



Abbildung 2: Mobile Quelle für die Erzeugung des experimentellen Erdschlussstromes

Der Frequenzumrichter erzeugt eine betriebsfremde Frequenz. Bei 50-Hz-Anlagen beträgt diese beispielsweise 57 Hz. Zur Impedanzanpassung wird die Quelle über einen Transformator und eine variable Kompensationskapazität mit der Versuchsleitung verbunden.

Der von der Betriebsfrequenz abweichende experimentelle Erdschlussstrom ermöglicht eine eindeutige Trennung der versuchsbedingten Erdströme von den betriebsmässigen Erdströmen. Zur Ermittlung der Einwirkspannungen und des Potenzialtrichters setzt die FKH Messgeräte mit digitalen Filtern ein. Diese verhindern eine Beeinflussung der Messergebnisse durch den 50-Hz-Anlagenbetrieb oder durch 16,7-Hz-Bahnströme (frequenzselektive Methode).

Innerhalb der Anlage und in der Umgebung werden Berührungs-, Schritt- und Differenzspannungen gemessen. Die ermittelten Messwerte werden auf der Grundlage der geltenden Starkstromverordnung (Ausgabe März 1994, Stand 1. Juni 2019) bzw. der Guideline SNG 483755:2023: «Erden als Schutzmassnahme in elektrischen Starkstromanlagen» beurteilt.

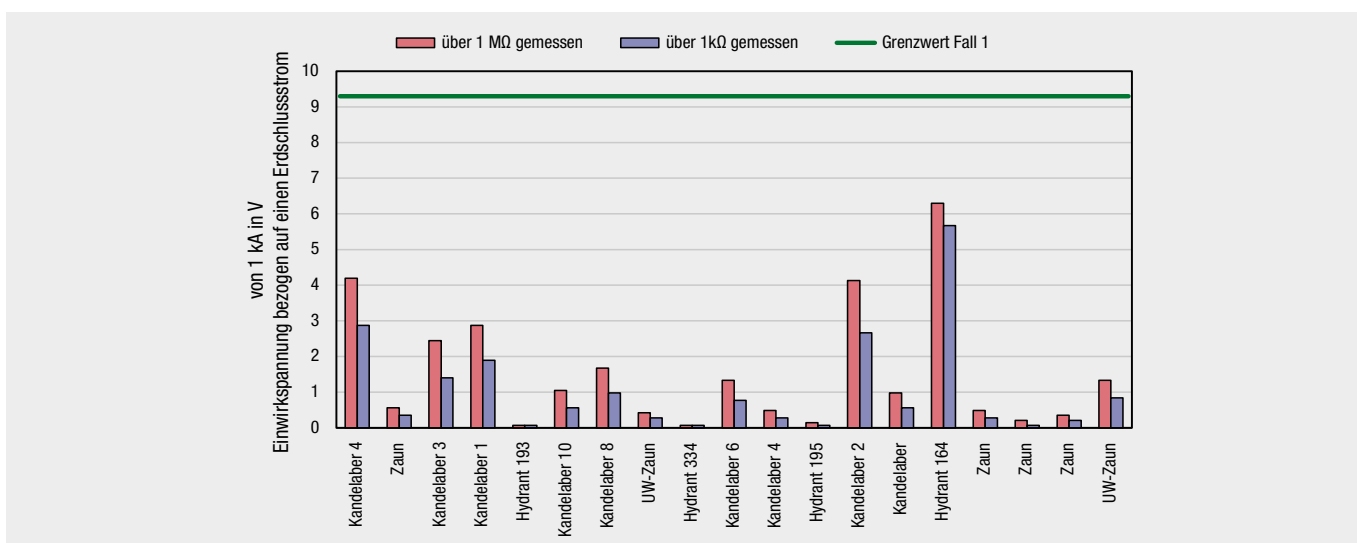


Abbildung 3: Berührungs-Differenz und Schrittspannung bezogen auf 1 kA Erdschlussstrom

Der Verlauf des Trichterpotenzials wird durch die Messung eines oder mehrerer radialer Spannungsprofile bis in den Bereich der Neutralerde erfasst. Die Potenzialdifferenz zwischen Neutralerde und Anlagenerde wird auf den eingespeisten Erdschlussstrom bezogen. Aus diesem Verhältnis wird näherungsweise die wirksame Erdungsimpedanz der Anlage bestimmt. An der für die Erdschlusschleife verwendeten Leitung werden die Mit- wie auch die Nullimpedanz gemessen.

Auf allen Leitungen und metallischen Verbindungen, die den Anlagbereich verlassen, wird der Erdschlussstromanteil in Betrag und Phase erfasst. Dazu gehören u.a. Erdungsverbindungen, Erdseile von Freileitungen, geerdete Schirme von Energie- und Signalkabeln, Druckleitungen und Bahntrassen. Diese Untersuchung gibt Aufschluss über die Stromaufteilung bei einem Erdschluss und ermöglicht die Überprüfung der Wirksamkeit der Erdverbindungen. Zudem können mögliche Beeinflussungsprobleme durch Erdströme erkannt werden.



Abbildung 4: Messung des Spannungstrichterprofils mit Messlitze

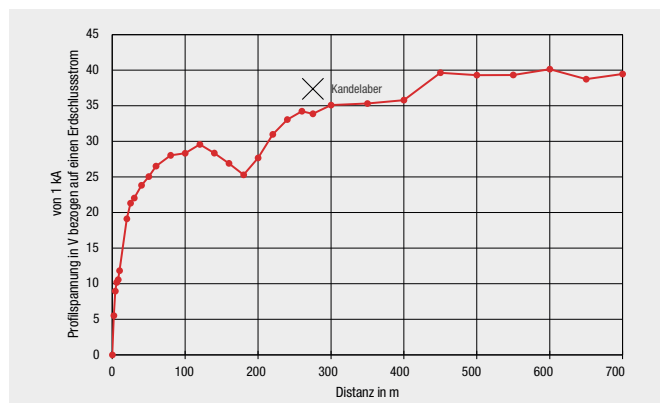


Abbildung 5: Spannungstrichterprofil



Abbildung 6: Strommessung mit flexiblen Sonden bei kleinen (links) und grossen (rechts) Objekten.

Nach Abschluss der Erdungsmessung wird ein Bericht erstellt, der die Auswertung der Messergebnisse beinhaltet. Die Wirksamkeit der Erdungsanlage und die im Erdschlussfall auftretenden Einwirkspannungen werden beurteilt und dokumentiert. Wenn die Berührungs-, Schritt- oder Differenzspannungen den zulässigen Grenzwert überschreiten, werden geeignete Abhilfemassnahmen vorgeschlagen. Bei möglichen Berechnungen oder Bewertungen zu einem späteren Zeitpunkt im Zusammenhang mit einer Erdungsanlage liefern die Ergebnisse ebenfalls wichtige Anhaltspunkte.



AUTOR

**Diego Friedli**  
MSc Eng. HES-SO  
Projektingenieur



AUTOR

**Philippe Alff**  
MSc ETH ETIT  
Projektingenieur

# Gashandling und Gasanalysen von alternativen Isoliergasen

Analog zu SF<sub>6</sub>-Schaltanlagen muss auch in Schaltanlagen mit alternativen Isoliergasen die Gasqualität überwacht werden und es sind Handlingsgeräte zur Befüllung und Rekuperation der Gase notwendig. Eine Gasqualitätsanalyse findet üblicherweise im Rahmen der Inbetriebnahme der Schaltanlagen statt. Eine Wiederholung alle paar Jahre ist geeignet, um allfällige Veränderungsvorgänge aufzudecken. Bei Nachfüllvorgängen oder z.B. bei Auffälligkeiten, wie bei Verdacht auf TE-Aktivität, können zusätzliche Analysen Sinn ergeben.

Die FKH hat sich im Jahr 2025 intensiv mit dem Thema Gashandling und Gasqualitätsanalyse von alternativen Isoliertgasmischungen auseinandergesetzt. Es wurden von der Firma DILO ein Servicegerät der Miniserie für C4-FN inklusive Vakuumpumpe (siehe Abbildung 1), sowie von der Firma EMT ein mobiles Gasanalysegerät RapideEco+ (siehe Abbildung 2) beschafft. Das DILO-Handlingsgerät ist in der Lage, kleinere Gasräume zu evakuieren, sie mit einer C4-FN-Mischung zu befüllen und das Gas (ohne Verflüssigung) in gasförmiger Form in Flaschen zu rekuperieren. Das mobile Gasanalysegerät ist in der Lage, die Gasqualität für SF<sub>6</sub>-Mischungen, Luftmischungen und C4-FN-Mischungen zu überprüfen.

Zusammen mit GE Vernova, Inovate und EMT wurde die Performance des EMT-Gasanalysegeräts an Referenzgasen mit hochpräzisen C4-FN/CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>-Mischungen und N<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O-Mischungen überprüft und mit mobilen Gasanalysegeräten der Firmen DILO und WIKA verglichen. Die Resultate des Vergleichstests wurden an der diesjährigen Fachtagung vorgestellt [1].

Das Gasanalysegerät wurde auch im Rahmen von Forschungsaktivitäten der CIGR-D1.78-Arbeitsgruppe zum Teilentladungsverhalten alternativer Isoliergase eingesetzt. Es wurde die Gasqualität der zu untersuchenden Mischungen überprüft. Es kamen dabei eine C4-FN-haltige (3,5% C4-FN/10% O<sub>2</sub>/86,5% CO<sub>2</sub>), eine PFAS-freie Mischung (90%

CO<sub>2</sub>/10% O<sub>2</sub>) und synthetische Luft (80% N<sub>2</sub>/20% O<sub>2</sub>) zum Einsatz. Die erwartete Gasqualität gemäss Flaschenzertifikaten konnte vor Beginn der Versuche mit dem mobilen Gasanalysegerät bestätigt werden. In den Versuchen wurden AC-Durchschläge (mit geringer Durchschlagsenergie) und das Teilentladungsverhalten an Spitze-Platte-Anordnungen in verschiedenen Gasmischungen und bei verschiedenen Gasdrücken untersucht. Das Gas wurde nach den Versuchen ein zweites Mal analysiert. Es konnte nachgewiesen werden, dass sich die Gasqualität durch die Versuche nicht verändert hatte, innerhalb der Messunsicherheit des Gasanalysegeräts. Eine wahrscheinlich vorhandene sehr geringe Menge des Zersetzungsprodukts CO, welches bei C4-FN- und CO<sub>2</sub>-Mischungen zu erwarten wäre, konnte mit dem Gerät nicht nachgewiesen werden. Im Gerät ist ein CO-Sensor verbaut, der volumetrische Gasanteile bis 10'000 ppm messen kann. Der erzeugte CO-Gehalt lag unterhalb der Nachweisschwelle des Gerätes. Der tatsächliche CO-Wert wäre nur mit einer Laboranalyse oder mit einem CO-Sensor mit kleinerem Messbereich nachweisbar gewesen.

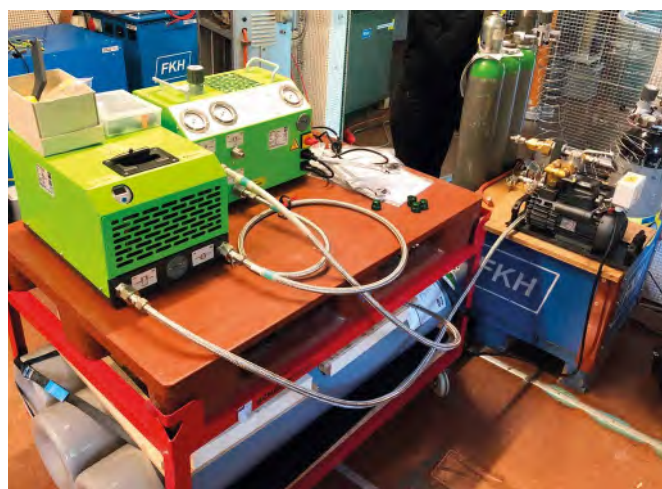


Abbildung 1: Gashandling mit C4-FN-Mischung im Rahmen der D1.78-Versuche



Abbildung 2: Gasanalyse mit dem EMT-Analysegerät RapideEco+

Darüber hinaus kamen das Analysegerät und die Apparaturen zur Befüllung von C4-FN-Mischungen ebenfalls im Rahmen eines Kundenprojektes zum Einsatz. Ein FKH-Mitglied betreibt einen Langzeitversuch mit einer einphasigen 145-kV-GIS am FKH-Standort Niedergösgen zu Forschungszwecken. Nach einem Umbau am Versuch wurde der Spannungswandler neu befüllt und die korrekte Gasqualität im Anschluss überprüft, siehe Abbildung 3.



Abbildung 3: Befüllung eines Spannungswandlers mit einer C4-FN-Mischung und anschließende Überprüfung der C4-FN-Gasqualität

Das mobile Gasanalysegerät hat sich bereits auch bei einem Einsatz vor Ort bewährt. Für Axpo Grid wurden im Unterwerk Etzel (siehe Abbildung 4) Gasanalysen an sämtlichen Gasräumen der Schaltanlage durchgeführt. Die Schaltanlage wurde 2017 mit einer C4-FN/O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>-Mischung befüllt und ist die weltweit erste in Betrieb genommene g<sup>3</sup>-Schaltanlage. Um zu verhindern, dass Gasanalysen an in Betrieb stehenden Gasräumen durchgeführt werden mussten, wurde jeweils die Hälfte der Anlage mit den zu analysierenden Gasräumen freigeschaltet, indem die beiden Trennschalter der Längstrennung geöffnet und die jeweiligen Erdungsschalter geschlossen wurden. Diese Sicherheitsmassnahme wurde ergriffen, da die Gasentnahme trotz der sehr geringen Entnahmemenge kurzfristig die Spannungsfestigkeit des Gasraumes reduzierte. Neben dem EMT-Gasanalysegerät der FKH kamen auch mobile Gasanalysegeräte von DILO und WIKA zum Einsatz.



Abbildung 4: Gasqualitätsmessung im Unterwerk Etzel mit Gasanalysegeräten drei verschiedener Hersteller

Für den Fall, dass Gasanalysen Auffälligkeiten zeigen, ist eine sensitivere Analyse einer Gasprobe in einem Labor zu empfehlen. Dabei werden Proben mittels einer Kombination aus Gaschromatografie und Massenspektroskopie (GC/MS) oder einer Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie (FTIR) analysiert. Hierfür hat die FKH eine Probenentnahmearmatur (siehe Abbildung 5) ausgelegt, mit welcher sie in der Lage ist, vor Ort Gasproben von ca. einem halben Liter bei einem Druck von einigen bar aus einem Gasraum kontrolliert zu entnehmen. Es ist hierbei wichtig, die Probeflaschen vorgängig zu evakuieren und auf Dichtheit zu überprüfen. Es werden beschichtete Flaschen eingesetzt, damit sich das Gas während der Zeitspanne zwischen Probenentnahme und Analyse nicht verändert.



Abbildung 5: Probenentnahme-Armatur für Gasproben zur Laboranalyse

Die steigende Anzahl an GIS-Anlagen mit alternativen Isoliergasen im Betrieb in der Schweiz führt auch zu vermehrtem Bedarf an Gasanalysen. Während SF<sub>6</sub>-Analysegeräte und die damit verbundene Erfahrung bei den Netzbetreibern weitverbreitet sind, muss die Erfahrung im Umgang mit alternativen Isoliergasmischungen teilweise erst noch aufgebaut werden. Die FKH ist hierbei einen Schritt vorausgegangen und kann in Zukunft Netzbetreiber bei Themen der Gasqualität und Gasqualitätsanalyse bei alternativen Isoliergasen beraten und bei Bedarf messtechnisch unterstützen.

[1] M. Walter, Messtechnische Zustandsbeurteilung von Betriebsmitteln in Schaltanlagen und Kraftwerken, FKH-Fachtagung 2025, [https://fkh.ch/wp-content/uploads/2025/11/Tagungsband-komplett\\_komprimiert.pdf](https://fkh.ch/wp-content/uploads/2025/11/Tagungsband-komplett_komprimiert.pdf)



AUTOR

**Dr. Henning Janssen**

Dr.-Ing.  
Projektingenieur



AUTOR

**Dr. Michael Walter**

Dr. sc. ETH  
Geschäftsleiter

# Typenprüfung an Druckluftkabeln in der neuen FKH-Prüfhalle in Niedergösgen

Seit ihrer Einweihung im Oktober 2024 wurde die neue Prüfhalle der FKH bereits intensiv für Kundenprüfungen sowie für interne Prüfungen genutzt. Die erste Typenprüfung wurde für die Firma Hivoduct AG an einem 245-kV-Druckluftkabel im Jahre 2024 initiiert und 2025 fortgeführt. Um die verschiedenen Prüfspannungen an den Prüfling anlegen zu können, wurde das Druckluftkabel mit einer Freiluftdurchführung versehen (siehe Abbildung 1). Der Prüfling wurde in zwei Teilen angeliefert und in der Prüfhalle mit dem 10-t-Kran durch den Kunden endmontiert, aufgestellt und befüllt. Für sämtliche Prüfungen wurde der Prüfling mit Minimaldruck befüllt. Der Druck wurde auf eine äquivalente Dichte bei Umgebungsbedingungen von 20°C kompensiert. Auch wenn das Druckluftkabel in der Namensgebung das Wort «Kabel» verwendet, handelt es sich doch um eine gasisolierte Leitung. Der Prüfling wurde somit gemäss der Norm IEC 62271-204 für gasisolierte Leitungen geprüft. Die Norm für gasisolierte Leitungen verweist wiederum auf die IEC 62271-1 (Hochspannungs-Schaltgeräte und -Schaltanlagen), die IEC 60060-1 (Hochspannungsprüftechnik) und die IEC 60270 (Teilentladungsmessung). Es wurden folgende Prüfungen durchgeführt:

1. Bemessungs-Stehblitzstossspannung mit 1050 kV Scheitelwert
2. Bemessungs-Kurzzeit-Stehwechselspannungsprüfung mit 460 kV / 1 min und anschliessender Teilentladungsmessung bei 245 kV
3. Dauerstromprüfung mit 3150 A

Die Blitzstossspannungsprüfung erfolgte mit einem 12-stufigen Haefely-Stossgenerator (siehe Abbildung 1) gemäss IEC 60060-1, Verfahren B. Dabei wurden jeweils 15 positive und 15 negative Blitzstösse mit einer Wellenform von 1,2/50  $\mu$ s und einer Amplitude von 1050 kV aufgebracht. Zur präzisen Einstellung der geforderten Wellenform wurde zwischen Stossgenerator und Prüfling ein Bandwiderstand eingesetzt. Um die aufgespannte Kreisinduktivität möglichst gering zu halten, erfolgten sowohl die Erdverbindungen als auch die Hochspannungsverbindung zum Messteiler über breite Kupferbänder. Stossgenerator und Messteiler waren dabei sternförmig am Prüfling angeschlossen, wodurch mögliche Spannungsdifferenzen zwischen Prüfling und Teiler wirksam minimiert wurden.



Abbildung 1: Blitzstossprüfung (Front- und Rückansicht): Im Vordergrund des linken Bildes sind der Prüfling und die Ladeinheit des Stossgenerators zu sehen, im Hintergrund der Spannungsteiler und der Stossgenerator

Die Wechselspannung wurde mithilfe einer Serienresonanzanlage erzeugt (siehe Abbildung 2). Aufgrund des Funktionsprinzips der Resonanzanlage ist die Prüfspannung praktisch oberwellenfrei. Die Prüffrequenz (Resonanzfrequenz) wurde durch den Einsatz einer Zusatzkapazität im Frequenzbereich zwischen 45 Hz und 65 Hz gemäss IEC 60060-1 eingestellt.



Abbildung 2: Prüfanordnung für Wechselspannung; von rechts nach links: Frequenzumrichter und Step-up-Transformator, Drosselturm aus 3 in Serie geschalteten Stabkerndrosseln, Prüfling mit Freiluftdurchführung, Spannungsteiler und Parallelkapazität

Während der Wechselspannungsprüfung wurden Teilentladungsmessungen sowohl konventionell nach IEC 60270 als auch mithilfe der im Druckluftkabel integrierten UHF-TE-Sensoren im UHF-Frequenzbereich von 0,1 – 2,0 GHz erfasst (siehe Abbildung 3). Die Auswertung der Teilentladungsmessung erfolgte nach der einminütigen Haltespannungsprüfung bei 460 kV auf dem Spannungspegel von 294 kV ( $1,2 \times 245$  kV) gemäss IEC 62271-203.

Neben den Hochspannungsprüfungen wurde an einem zweiten Prüfpole eine separate Dauerstromprüfung (thermische Prüfung) gemäss IEC 62271-204 durchgeführt. Dabei wurde ein Dauerstrom von 3150 A mithilfe eines Hochstrom-(Heiz-)Transformators in den Prüfling induziert (siehe Abbildung 4).



Abbildung 3: Eingesetztes UHF-TE-Messsystem der FKH

Für Hochstromprüfungen muss der Prüfling stets einen geschlossenen Stromkreis bilden, damit der induzierte Strom fließen kann. Zu diesem Zweck wurde der Heiztransformator am Durchführungsende installiert, wobei der Durchführungskopf mit dem Gehäuse am Durchführungsfuss verbunden wurde. Am gegenüberliegenden Ende des Prüflings wurde innerhalb des Gasraums ein Kurzschluss zwischen Gehäuse und Innenleiter erzeugt. Dadurch floss der gesamte Rückstrom über die Kapselung, wodurch auch diese mit erhitzt wurde – dies bildet den kritischsten Betriebsfall realistisch nach.

Die Temperatur wurde sowohl am Hochspannungsleiter als auch an der Kapselung an aussagekräftigen Punkten gemessen. Besonders kritisch sind bei Dauerstromprüfungen Kontaktstellen, an denen Hochspannungsleiter z.B. über Steckverbindungen oder Kontaktlamellen verbunden sind.

Als Prüfkriterium gemäss IEC werden sowohl die maximal erreichte absolute Temperatur als auch die relative Übertemperatur gegenüber der Umgebung in 1 m Abstand vom Prüfling betrachtet. Letzteres stellt sicher, dass der Prüfling auch bei der maximalen Umgebungstemperatur laut Typenschild (in der Regel 40 °C) zuverlässig betrieben werden kann.



Abbildung 4: Versuchsaufbau für die thermische Prüfung



AUTOR

**Dr. Vahe Der Houhanessian**

Dr. sc. techn. ETH  
Projektingenieur



AUTOR

**Gunnar Andrae**

M. Eng. Dipl. Ing. (FH)  
Projektingenieur

# Entwicklungsprüfungen mit dem mobilen modularen Stossgenerator in der FKH-Prüfhalle

Im vergangenen Jahresbericht wurde vorgestellt, dass in der Prüfhalle der FKH in Niedergösgen Spannungsprüfungen an Komponenten der 245-kV-Baureihe nach IEC 60071-1 durchgeführt werden können. Dazu gehört auch eine Stehblitzstossspannung mit einem Scheitelwert von 1050 kV, die mit einem 12-stufigen Marx-Generator (Summenladespannung 1,2 MV) erzeugt wird.

Im Jahr 2025 wurden daraufhin Prüfungen mit verschiedenen Spannungshöhen durchgeführt. Für Stossspannungen bis zu etwa 450 kV wurde in der Vergangenheit ein kleinerer Stossspannungsgenerator verwendet. Mit dem neuen Stossspannungsgenerator steht nun jedoch auch ein moderneres und zuverlässigeres Steuerungs- und Messsystem zur Verfügung, das ebenfalls für Untersuchungen an Prüfobjekten kleinerer Bauarten Verwendung finden soll.

Der neue Marx-Generator lässt sich modular auf sechs oder neun Stufen reduzieren, was jedoch mit Kranarbeiten und grösseren Umbaumaassnahmen verbunden wäre. Alternativ kann die Anzahl der verwendeten Stufen auch durch Kurz-

schliessen bzw. Entfernen einzelner Widerstände beeinflusst werden, sodass innerhalb weniger Minuten der Stossgenerator an Prüfobjekte verschiedenster Baugrössen angepasst werden kann. Beispielsweise wurden Untersuchungen für verschiedene Kunden an Vakuumschaltern, Stromabnehmern oder Transformatoren für Bahnanwendungen mit Stossspannungen im Bereich von etwa 50 kV bis 125 kV durchgeführt, siehe Abbildung 1.

Ein Kunde kam im vergangenen Jahr auf die FKH zu, um Entwicklungsprüfungen durchzuführen. Dabei stellten sich besondere Herausforderungen: Die Untersuchungen sollten nicht nur bei 1050 kV, sondern darüber hinaus bei bis zu etwa 1250 kV durchgeführt werden. Somit war der 12-stufige Aufbau nicht ausreichend. Erfolgreich konnte der Marx-Generator auf 15 Stufen erweitert werden, um die nötige Spannungshöhe bereitstellen zu können. Dies wurde möglich, da nochmals akribisch die Abstände insbesondere zur Decke und zum zur Montage benötigten Hallenkran vermessen wurden. Hinsichtlich der Spannungshöhe liessen sich nun also auch Komponenten bis zur 362-kV-Spannungsreihe untersuchen. Eine



Abbildung 1: Stossspannungsprüfung an einem Vakuumschalter der Fa. Richard AG (links) und Transformator für Bahnanwendungen der Fa. Bächli AG (rechts) mit reduzierter Stufenanzahl am Marx-Generator für Spannungshöhen im Bereich von 50 kV bis 125 kV

weitere Herausforderung war, dass das Prüfobjekt in mehreren Konfigurationen untersucht werden sollte. In Kombination mit beiden Polaritäten und verschiedenen Spannungshöhen ergab sich schliesslich ein Messplan von über 300 Stössen. Dies stellte eine besondere Belastung für den Stossgenerator dar, da Energien von bis zu 120 kJ pro Stoss in den Widerständen in Wärme umgesetzt wurden, siehe Abbildung 2. Um eine Überhitzung zu vermeiden, musste zunächst zusammen mit dem Hersteller des Stossgenerators eine Wartezeit zwischen aufeinanderfolgende Stossreihen ermittelt werden. Schliesslich konnte die Messkampagne zusammen mit dem Kunden innerhalb weniger Tage erfolgreich durchgeführt werden.



Abbildung 2: Dämpfungs- und Entladewiderstände des Haefely-Stossgenerators

Im Rahmen der Entwicklungsprüfung wurde an der FKH auch ein System in Betrieb genommen, mit dem es möglich ist, die Stelle eines Durch- oder Überschlags zu lokalisieren. Während bei Aussenüberschlägen der Ort durch eine Langzeitbelichtung fotografiert werden kann, ist dies bei gekapselten Vorrichtungen nur bedingt möglich.

Bei dem von der FKH verwendeten Prinzip werden in den Erdungsverbindungen Stromsensoren verbaut und die transienten Ströme bei einer Stossspannungsuntersuchung aufgezeichnet. Dabei wird zunutze gemacht, dass bei einer Anordnung verschiedene zu erdende Teile voneinander isoliert und separat geerdet werden, siehe Abbildung 3.

Der Spannungsteiler dient hier als konzentrierte Belastungskapazität und der Ladestrom wird als Triggersignal für die Strommessung im digitalen Speicheroszilloskop verwendet. Wird nun im zu untersuchenden Objekt (DUT) die Stossspannung nicht gehalten, fliesst ein hoher Entladestrom lokal gegen Erde (in der Abbildung 3 im linken Bereich des DUT) und wird mit dem Stromsensor CH1 gemessen. Der Spannungsfall zwischen den beiden geerdeten Elektroden ist gering, da die Erdpfade kurz gehalten sind und die Stromsensoren eine zu vernachlässigende Gegenspannung aufbauen. Dieses Messsystem ist für die Entwicklungsprüfung sehr hilfreich, da allfällige Durchschläge direkt lokalisiert und einzelnen Komponenten zugeordnet werden konnten.

Mit dem neuen Stossspannungsgenerator hat die FKH im vergangenen Jahr gezeigt, dass sie gut aufgestellt ist für Stossspannungsuntersuchungen über einen weiten Bereich von etwa 50 kV bis 1250 kV, die witterungsunabhängig in einer Halle angeboten werden können. Darüber hinaus können auch weitere Analysemethoden angewandt werden, die über die einfache Spannungsmessung bei Typprüfungen hinausgehen, was insbesondere für Entwicklungsprüfungen essenziell ist. Perspektivisch ist die FKH jedoch auch in der Lage, den

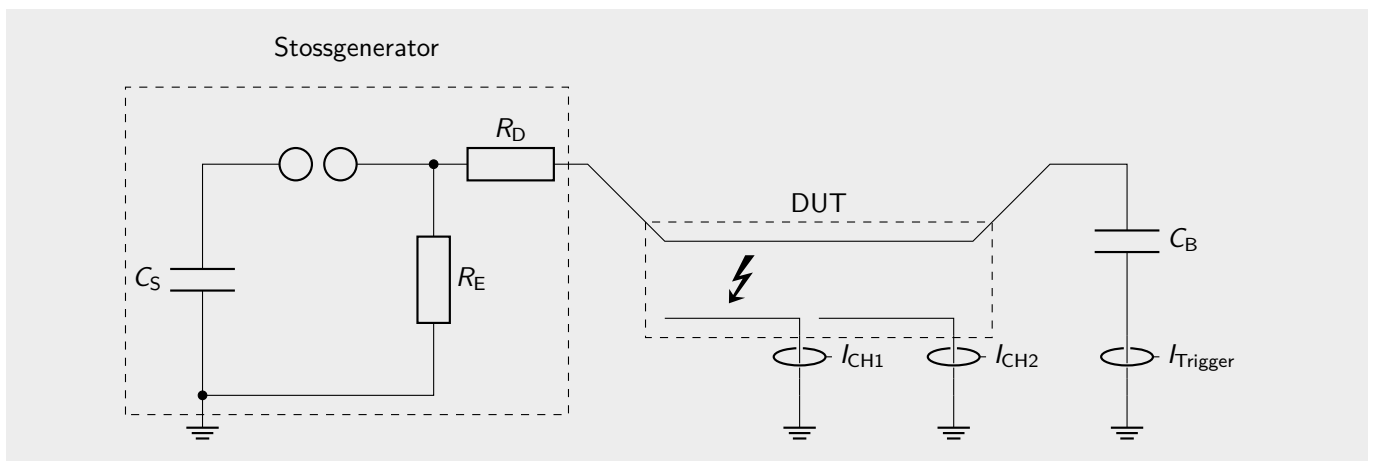


Abbildung 3: Strommessung im Erdungspfad zur Identifizierung des Durchschlagsortes bei Stossspannungsuntersuchungen

Stossspannungsgenerator auf bis zu 18 Stufen auszubauen und dann auf dem grosszügigen Freiluftareal Untersuchungen mit Spannungen bis zu 1800 kV durchzuführen. Damit wären Prüfungen von Komponenten bis zur 550-kV-Ebene durchführbar.



AUTOR

**Eduard Tănase**

MSc ETIT  
Projektingenieur



AUTOR

**Dr. Henning Janssen**

Dr.-Ing.  
Projektingenieur

# Aufbau einer neuen Prüfquelle für schwer zugängliche Transformatoren

In vielen Fällen stehen Leistungstransformatoren in Freiluftschaltanlagen oder in Gebäuden, welche gut mit einem grossen Lkw samt Anhänger erreicht werden können. Bei diesen ist die Zufahrt mit unserer grossen Transformatorenprüfquelle kein Problem. Es kommt aber immer wieder vor, dass die Zufahrt mit einem grossen Lkw samt Anhänger nicht oder nur schwer möglich ist. So gibt es zum Beispiel im städtischen Bereich und in den Bergen unterirdische Unterwerke.

Um auch solche Transformatoren prüfen zu können, besitzt die FKH eine kleine Prüfanlage. Die einzelnen Komponenten dieser Prüfanlage sind aber bereits in die Jahre gekommen und haben das Ende ihrer Lebensdauer erreicht.

Aus diesem Grund hat sich die FKH entschlossen, diese kompakte Prüfanlage grundlegend zu erneuern. Es wurden ein neuer 3-phasiger Frequenzumrichter, ein neuer Anpasstransformator und neue Messtechnik angeschafft.

Da die Ausgangsspannung des 3-phasigen Frequenzumrichters auf 400 V begrenzt ist, wird noch ein Anpasstransformator benötigt, welcher die Spannung auf bis zu 34 kV hochtransformiert.

Im Vordergrund stand die Anforderung, dass alle Komponenten der Prüfanlage die Grundmasse einer Europalette (80 cm x 120 cm) nicht überschreiten. So kann jede Komponente mit einem Hubwagen verschoben und durch Türen in Innenräume eingebracht werden. Ebenfalls wurde darauf geachtet, dass die einzelnen Komponenten nicht zu schwer werden, sodass auch die Nutzung von (Waren-)Liften möglich ist.

Zum Jahreswechsel 2025/2026 waren der Anpasstransformator und die Messtechnik einsatzbereit und auch bereits bei ersten Prüfungen zum Einsatz gekommen. Der Frequenzumrichter befindet sich aktuell in der letzten Phase der Inbetriebnahme.

Mit dieser Prüfanlage können Transformatoren geprüft werden, welche typischerweise die Mittelspannungsebene mit den benachbarten Netzebenen koppeln. Die Prüfleistung ist ausreichend für Transformatoren bis zu 60 MVA Leistung. Die tatsächliche Grenze der Einsetzbarkeit hängt von der Leerlaufleistung und dem Leerlaufstrom des zu prüfenden Transformators ab.

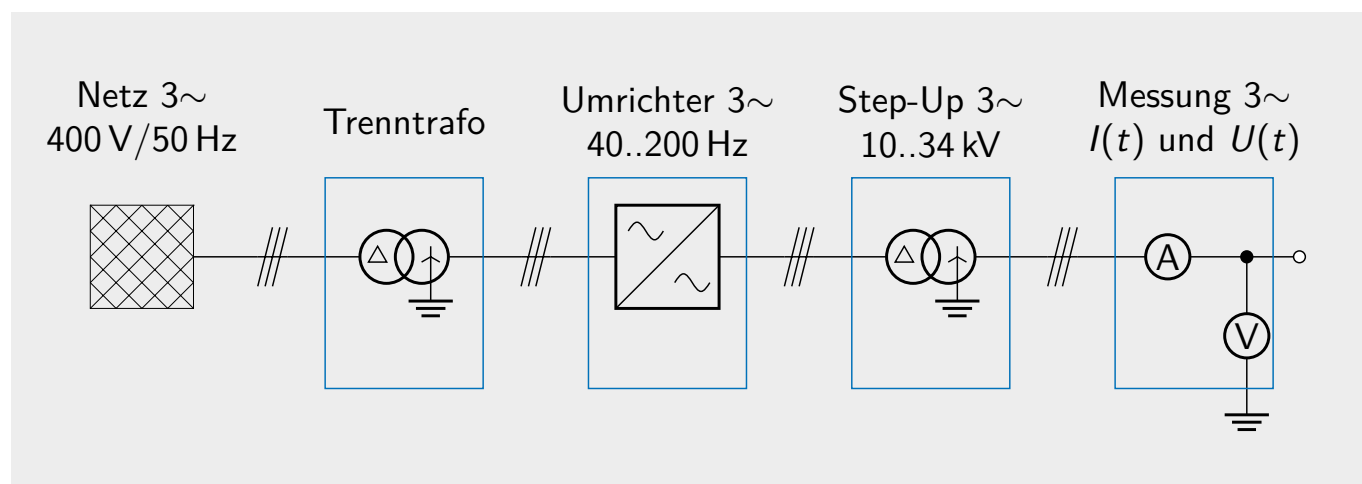


Abbildung 1: Schema der kleinen Trafo-Prüfquelle; blaue Umrandung steht für Komponente, die Grundmasse einer Europalette hat



Abbildung 2: Foto der kleinen Transformator-Prüfquelle; v.l.: Trenntransformator, 3-phasiger Umrichter, Anpasstransformator, Palette mit Spannungsteilern und Stromwandlern



AUTOR

**Dr. Henrik Menne**

Dr. sc. ETH  
Projektingenieur



AUTOR

**Dr. Henning Jansen**

Dr.-Ing.  
Projektingenieur

# Netzanalyse im Zuge der Erneuerung der Schaltanlage zur Versorgung des Lichtbogenofens der Steeltec Emmenbrücke

## Veranlassung und Ziel der Untersuchung

Die Steeltec AG zählt zu den führenden Anbietern von Qualitäts-, Edel- und Automatenstahl auf dem europäischen Langstahlmarkt.

Das Herzstück der Stahlproduktion am Standort Emmenbrücke bildet ein Elektrolichtbogenofen (EAF), der zum Einschmelzen von Stahlschrott eingesetzt wird. Die für den Betrieb des Lichtbogenofens erforderlichen Schalthandlungen werden derzeit durch Druckluftleistungsschalter des Typs BBC/ABB DB60m1500 ausgeführt. Dieser Häufigkeitsschalter stammt aus dem Jahr 1958, ist technisch veraltet und mit einem hohen Wartungsaufwand verbunden. Zudem gestaltet sich sowohl die Ersatzteilbeschaffung als auch die Wartungsunterstützung durch den Hersteller zunehmend schwierig.

Im Rahmen eines geplanten Umbauprojekts soll daher die Ofenschaltanlage erneuert werden, wobei insbesondere die bestehenden Druckluftleistungsschalter durch moderne Vakuum-Leistungsschalter ersetzt werden sollen. Neben den transienten Netzrückwirkungen, die im Zuge dieses Technologiewechsels neu zu bewerten sind, stellt das 50-kV-Mittelspannungsnetz der Steeltec AG eine besondere Herausforderung dar. Hintergrund ist, dass Häufigkeits- und Ofenleistungsschalter weltweit lediglich bis zu Bemessungsspannungen von maximal 40,5 kV verfügbar sind.

Da eine Umstellung des bestehenden lokalen Netzes auf eine andere Spannungsebene aus wirtschaftlichen Gründen nicht vertretbar ist, stellt sich die Frage, ob eine neue 50-kV-Schaltanlage mit einem Vakuum-Leistungsschalter der 40,5-kV-Spannungsreihe sicher betrieben werden kann.

Die FKH wurde daher beauftragt, kritische Fehlerfälle zu identifizieren und diese mittels transients Netzanalyse zu bewerten sowie eine Gegenüberstellung mit den normativen Vorgaben

vorzunehmen. Darüber hinaus soll ein Konzept für zusätzliche Schutzbeschaltungen erarbeitet und die Wirksamkeit der vorhandenen Überspannungsableiter überprüft werden.

## Arbeitsbeschreibung/-methodik

Für die Analysen in dieser Studie wurde in folgenden Teilschritten vorgegangen:

- Vor-Ort-Begehung der Schaltanlage in Emmenbrücke
- Durchsicht der von Steeltec bereitgestellten Unterlagen – einschliesslich Berichten, Schemata und technischer Daten – sowie Austausch mit den Schalterlieferanten
- Normative Bewertung und vergleichende Analyse der Bemessungsprüfpegel für Typprüfungen von Leistungsschaltern (LS) in den Spannungsreihen 40,5 kV und 52 kV zur Beurteilung der Schaltleistungsfähigkeit sowie zur Identifikation kritischer Schaltfälle für transiente Netzberechnungen
- Modellierung der Teilnetzsituation auf Basis vorliegender Anlagendaten mithilfe der Simulations-Software EMTP<sup>1</sup>
- Durchführung transienter Netzberechnungen für kritische Schaltfälle des Vakuum-Leistungsschalters
- Vergleich der berechneten elektrischen Belastungen (Strom- und Spannungswerte) der aktuellen Netzsituation mit den Typenprüfpegeln der Bemessungsspannung von 40,5 kV
- Ausarbeitung zusätzlicher Lösungsansätze zur Begrenzung transienter Überspannungen
- Berechnung potenzieller Überspannungen am Vakuum-Leistungsschalter (Ofenschalter) infolge atmosphärischer Einwirkungen, insbesondere von Blitzeinschlägen im speisenden Übertragungsnetz
- Bewertung der Ergebnisse im Vergleich zu den Prüfpegeln (Blitzstossspannungen) aus den Typprüfungen des Leistungsschalters
- Bewertung der Wirksamkeit von Überspannungsableitern hinsichtlich ihrer Dimensionierung und Einbauposition zur Begrenzung möglicher Überspannungen

<sup>1</sup> EMTP – Electromagnetic Transients Program



Das vorgelagerte Speisernetz der CKW wurde auf Basis der bekannten Kurzschlussleistungen durch äquivalente Mit- und Nullimpedanzen modelliert. Zur Untersuchung atmosphärischer Überspannungen wurden neben dem Ofentransformator auch die Freileitungs-, Kabel- und Schienenverbindungen zwischen dem UW Littau und von Moos 1 berücksichtigt. Der Sternpunkt des Transformators im UW Littau ist auf der 50-kV-Unterspannungsseite über eine 35-Ω-Drossel geerdet, während der Ofentransformator mit isoliertem Sternpunkt betrieben wird.

Für die Analyse transients Vorgänge infolge atmosphärischer Überspannungen und Schalthandlungen ist eine detaillierte Modellierung der beteiligten Betriebsmittel erforderlich. Die verwendeten frequenzabhängigen Modelle basieren auf den realen geometrischen Daten der Betriebsmittel, insbesondere von Kabeln und Freileitungen (Mastbilder).

Die Magnetisierungskennlinie des Ofentransformators zur Berechnung von Einschalt- und Leerlaufströmen wurde aus den gemessenen Leerlaufversuchen des Herstellers abgeleitet und verifiziert. Die Wicklungsstreckkapazitäten wurden dem Datenblatt entnommen.

**Unterbrechen von Kurzschlussströmen**

Auf Basis der Kurzschlussleistungen wurden die von der CKW ermittelten Kurzschlussströme im Modell verifiziert.

Zudem wurden die drei- und einphasigen Fehlerströme am Ofentransformator in Abhängigkeit von der Stellung der Serienspule sowie der Kurzschlussleistung berechnet. Die resultierenden Kurzschlussströme liegen im Bereich von 3,0 kA bis 5,7 kA.

Unter der Annahme eines Nennkurzschlussstroms des Leistungsschalters von 31,5 kA sind insbesondere Schaltfälle mit weniger als 30% des Bemessungs-Kurzschlussstroms für die Analyse relevant. Die für Leistungsschalter mit Bemessungsspannungen von 40,5 kV bzw. 52 kV spezifizierten Grenzwerte der transienten Wiederkehrspannung, die in Typprüfungen nach IEC 62271-100 nachgewiesen wurden (vgl. Tabelle 1), werden mit den berechneten Ergebnissen in Tabelle 2 verglichen.

An dieser Stelle werden Leistungsschalter elektrisch nach Klasse S1 und Klasse S2 unterschieden:

- *Klasse-S1-Leistungsschalter*  
 Leistungsschalter mit einer Bemessungsspannung von mehr als 1 kV und weniger als 100 kV, bei denen die Gesamtlänge des an die Versorgungsseite des Leistungsschalters angeschlossenen Kabels mindestens 100 m beträgt (einschliesslich der äquivalenten Länge, die durch die Kapazität von Kondensatoren und/oder isolierten Schienen bereitgestellt wird).

$U_r$ in kV	Testfall %	Strom kA	$u_c$ kV	$t_3$ $\mu$ s	$u_c/t_3$ in kV/ $\mu$ s
40,5	30	9,45	79,4	25,1	3,16
	10	3,15	84,3	25,1	3,36
52	30	9,45	102	29,0	3,51
	10	3,15	108	29,0	3,73

Tabelle 1: Prüfwerte der transienten Wiederkehrspannung des erstlöschenden Pols (first pole to clear) für Klasse-S1-Leistungsschalter bei Klemmenkurzschluss in isolierten Netzen

$U_N$ in kV	Testfall %	Strom kA	$u_c$ in kV	$t_3$ $\mu$ s	$u_c/t_3$ in kV/ $\mu$ s
50	18	5,66	100	72,6	1,37
	10	3,2	110	97,2	1,13

Tabelle 2: Berechnung der transienten Wiederkehrspannung des erstlöschenden Pols (first pole to clear) über dem Leistungsschalter am Ofentransformator

• Klasse-S2-Leistungsschalter

Leistungsschalter mit einer Bemessungsspannung von über 1 kV und unter 100 kV, bei denen an der Versorgungsseite des Leistungsschalters kein Kabel angeschlossen ist oder die Gesamtlänge des Kabels (einschliesslich der äquivalenten Länge, die gegebenenfalls durch die Kapazität von Kondensatoren und/oder isolierten Schienen bereitgestellt wird) auf der Versorgungsseite des Leistungsschalters weniger als 100 m beträgt.

Aufgrund der Anschlusskonfiguration in Emmenbrücke ist der Einsatzort einem 52-kV-Schalter der Klasse S1 zuzuordnen. Der geplante Siemens-Leistungsschalter 3AH4 erfüllt diese Klasse.

Tabelle 2 zeigt die berechneten Werte der transienten Wiederkehrspannung für die minimal und maximal am Ofentransformator auftretenden dreiphasigen Kurzschlussströme. Der minimale Fehlerstrom entspricht dem in IEC 62271-100 definierten 10%-Schaltfall, sodass die Ergebnisse direkt mit den Werten in Tabelle 1 vergleichbar sind. Die Grösse  $u_c$  bezeichnet

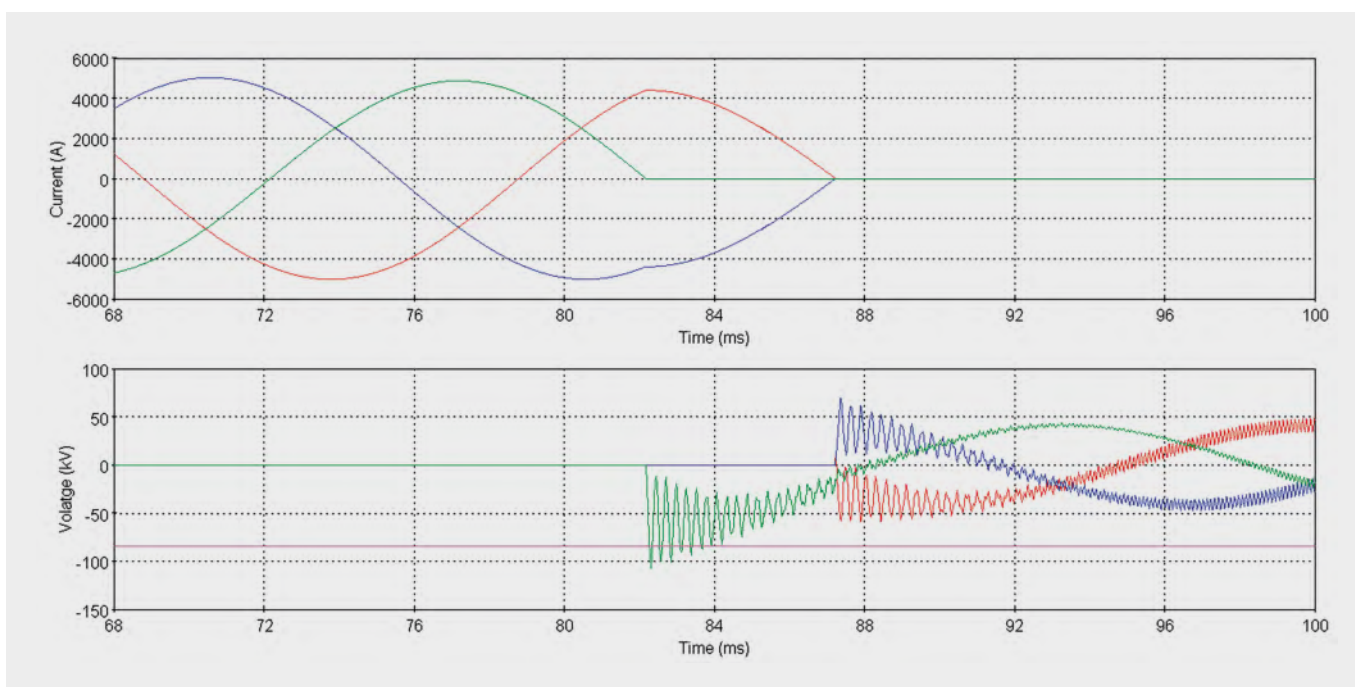


Abbildung 2: Ausschaltung eines dreiphasigen Fehlers bei 10% Nennkurzschlussstrom des Leistungsschalters ohne bestehende Ableiter

den Scheitelwert der transienten Wiederkehrspannung,  $t_3$  die Zeit bis zum Scheitelwert. Das Verhältnis  $u_c/t_3$  beschreibt die Spannungssteilheit über den Leistungsschalterkontakten.

Die dargestellten Werte beziehen sich auf eine Netzsituation ohne Überspannungsableiter und repräsentieren damit die Ausgangssituation (Worst Case). Abbildung 2 zeigt exemplarisch die Kurzschlussströme und die transienten Wiederkehrspannungen am Leistungsschalter beim Auslösen eines dreiphasigen Fehlers.

Die berechneten Amplituden der transienten Wiederkehrspannung stimmen gut mit den Prüfpegeln der 52-kV-Spannungsebene gemäss IEC 62271 überein und bestätigen die Validität der Berechnungsergebnisse. Im Vergleich zu den Prüfwerten zeigen die berechneten Spannungssteilheiten jedoch deutlich geringere Werte. Der Spannungsscheitelwert ist aufgrund der höheren Betriebsspannung von 50 kV höher als die Prüfpegel für die Bemessungsspannung von 40,5 kV. Auch bei Kurzschlussströmen zwischen den dargestellten Extremwerten bleibt die Wiederkehrspannung auf diesem Niveau. Abbildung 3 illustriert die etwa 20% Diskrepanz zwischen den Berechnungsergebnissen und dem IEC-Referenzwert.

Mit Integration der bestehenden Überspannungsableiter in die Simulation wird der Normwert der 40,5-kV-Spannungsebene nicht mehr überschritten (vgl. Abbildung 4). Eine zusätzlich vorgesehene RC-Schutzbeschaltung zur Absicherung weiterer Schaltfälle reduziert die Überspannungen zusätzlich und entlastet den Leistungsschalter wirksam.

### Selektivität

Der Ofentransformator wird grundsätzlich im Leerlauf ein- und ausgeschaltet. Nach dem Einschalten des leerlaufenden Transformators werden die Elektroden abgesenkt, wodurch ein Kurzschluss erzeugt wird, der den Lichtbogen zündet. Für den Moment des Kurzschlusses, bei dem der Einfluss des Lichtbogenwiderstandes vernachlässigbar ist, darf auf der Primärseite des Transformators keine Schutzauslösung erfolgen. Dies wird derzeit über eine zeitverzögerte Schutzauslösung realisiert.

Die Kurzschlussströme variieren in Abhängigkeit von der Netzkurzschlussleistung, der Stellung der Serienspule und der Stufenschalterposition des Ofentransformators und müssen im Berechnungsmodell berücksichtigt werden. Das Modell wurde auf der Grundlage von Messungen aus Kurzschlussversuchen am Ofentransformator validiert.

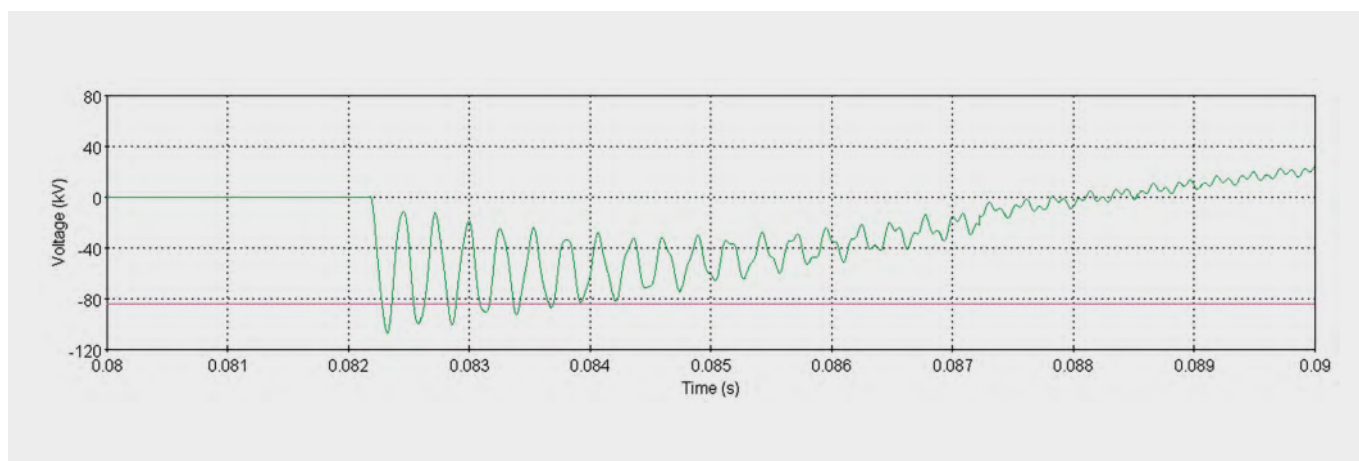


Abbildung 3: Detailplot der transienten Wiederkehrspannung des erstlöschenden Pols (grün) und Einhüllende der Typen Test Wiederkehrspannung

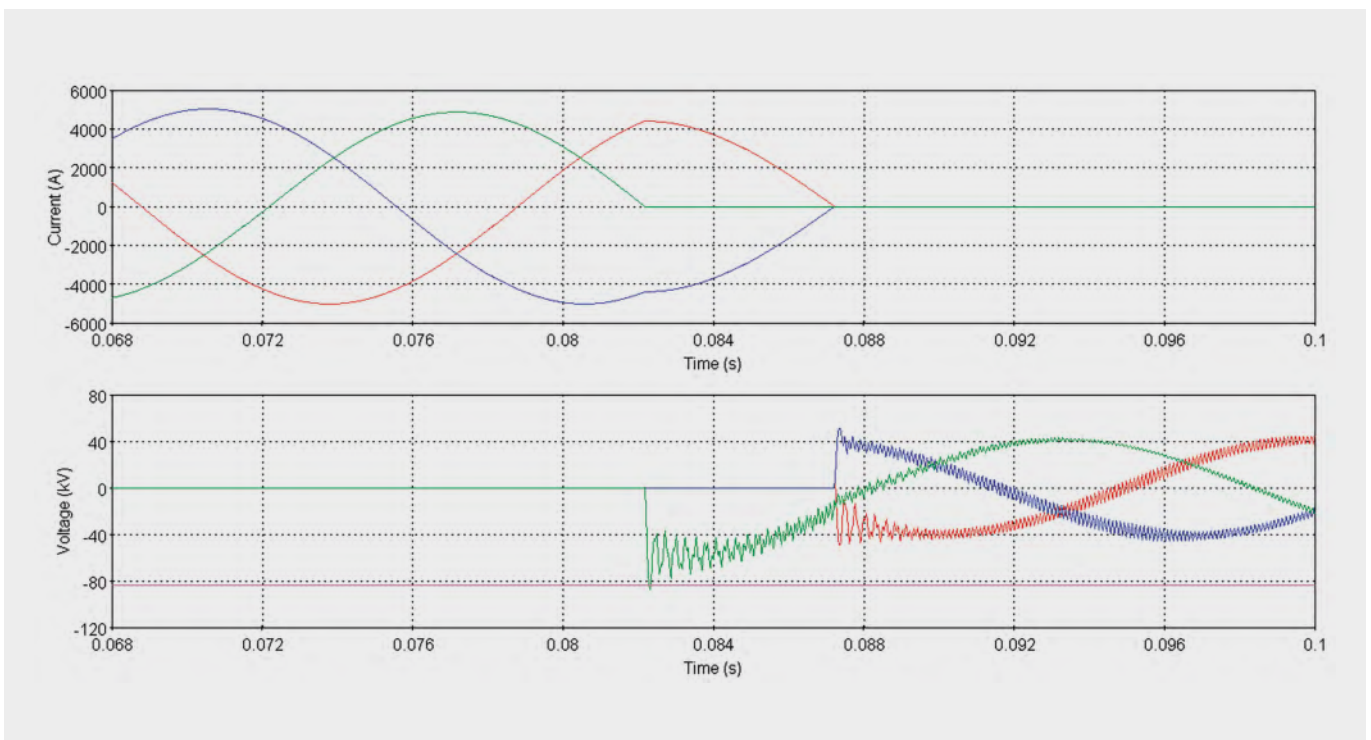


Abbildung 4: Ausschluss eines dreiphasigen Fehlers mit bestehenden Ableitern

Das EAF-Fahrprogramm gliedert den Schmelzprozess in drei Phasen. In den Phasen 1 und 2 erfolgt der Anfahrbetrieb bei Stufenschalterstellung 4 des Ofentransformators und Serienspule Stellung 7. Hier treten auf der Primärseite Kurzschlussströme im Bereich von 1,0 kA bis 1,2 kA auf. In Phase 3 steigen die Ströme auf 1,4 kA bis 1,5 kA an. Die Variation der Netzkurzschlussleistung zwischen 401 MVA und 580 MVA beeinflusst das Stromniveau nur geringfügig.

#### Schalten von Leerlauf- und Inrushströmen

Beim Einschalten von Transformatoren über Kabel- oder Schienenverbindungen können hochfrequente Spannungsschwingungen auftreten, die in der Regel nur schwach gedämpft sind. Diese Schwingungen können interne Resonanzen innerhalb der Transformatorwicklungen oder einzelner Windungen anregen und lokal zu kritischen Spannungsüberlastungen führen.

Die Frequenz der angeregten Schwingungen wird maßgeblich durch die Induktivität der Schienenverbindung sowie die Eigenkapazität der Wicklungen bestimmt. Abbildung 5 zeigt den hochfrequenten Einschwingvorgang an den Transformatorwicklungen.

Durch den Einsatz von RC-Beschaltungen (Phase gegen Erde) am Transformator lassen sich die hochfrequenten Schwingungen wirksam dämpfen und die Wicklungen vor Überspannungen schützen. In einer Parameterstudie wurde das Einschalt- und Ausschaltverhalten untersucht sowie die Spannungen bei Variation der Filterelemente und des Abreissstroms ausgewertet. Dabei ergaben sich optimale Ergebnisse für Widerstandswerte  $R = 20 \Omega - 100 \Omega$  und Kapazitätswerte  $C = 150 \text{ nF} - 200 \text{ nF}$ . Abbildung 6 zeigt exemplarisch den veränderten Spannungsverlauf für die Elementpaarung  $R = 100 \Omega$  und  $C = 200 \text{ nF}$ .

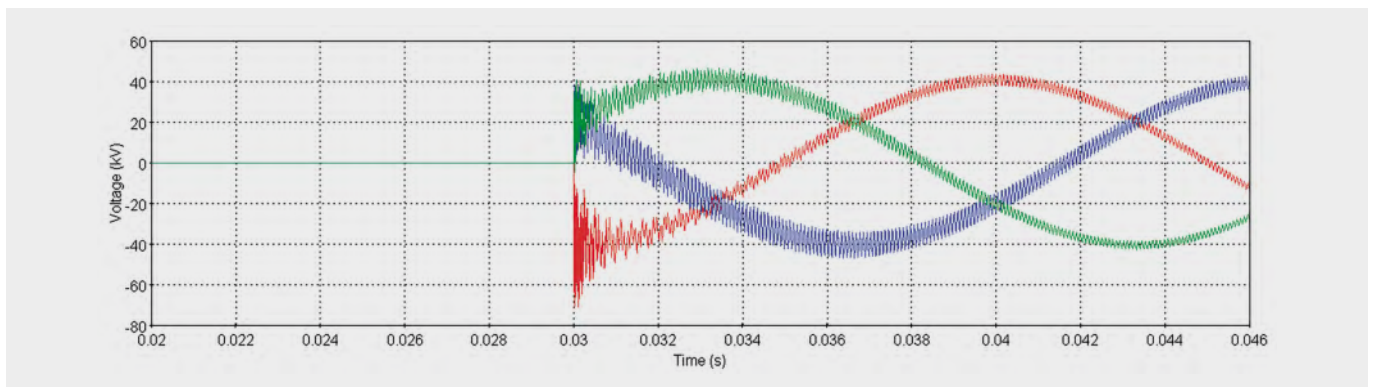


Abbildung 5: Spannungverlauf bei Einschaltung des leerlaufenden Transformators ohne Beschaltung

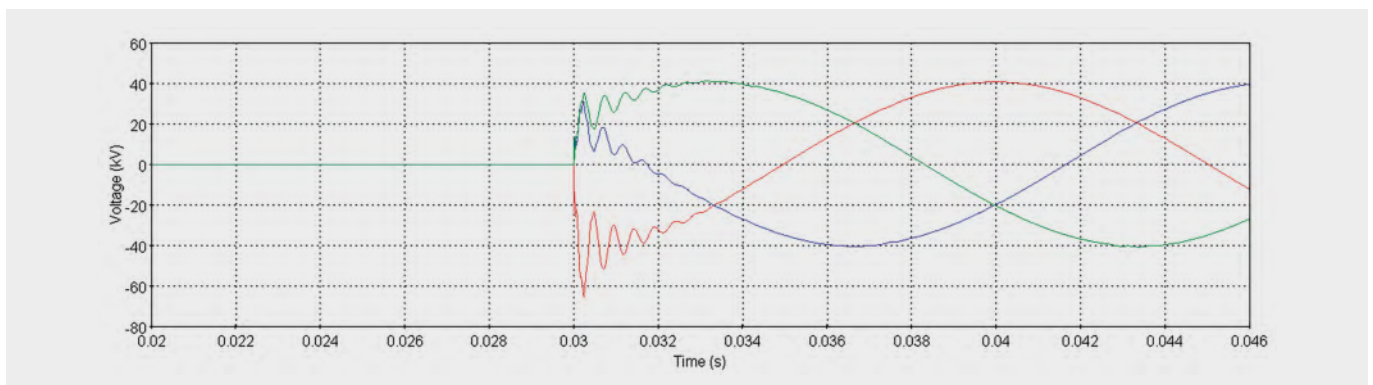


Abbildung 6: Spannungverlauf bei Einschaltung des leerlaufenden Transformators mit Beschaltung

Beim Abschalten kleiner induktiver Ströme, wie sie an leerlaufenden Transformatoren auftreten, können Leistungsschalter diese Ströme noch vor ihrem natürlichen Stromnulldurchgang unterbrechen. Dieses Phänomen, als Stromabriss (current chopping) bezeichnet, führt zu transienten Überspannungen (transient recovery voltages, TRV). Abhängig von der Lichtbogenzeit und dem Kontaktabstand der Lichtbogenkontakte zum Zeitpunkt der Abschaltung können diese Überspannungen Rückzündungen im Leistungsschalter verursachen.

Bei Vakuum-Leistungsschaltern besteht zudem die Gefahr eines virtuellen Stromabbrisses in den Nachbarphasen des erstlösch-

den Pols. Solche Rückzündungen erzeugen hochfrequente Überspannungen, die sowohl die Transformatorwicklungen als auch den Leistungsschalter dielektrisch stark belasten.

Abbildung 7 zeigt die Ausschaltung des Leerlaufstroms bei einem Stromabriss von 5 A am Leistungsschalter ohne Schutzbeschaltung. Mit der zuvor definierten RC-Schutzbeschaltung für Einschaltvorgänge in Kombination mit Überspannungsableitern ergibt sich das in Abbildung 8 dargestellte Verhalten.

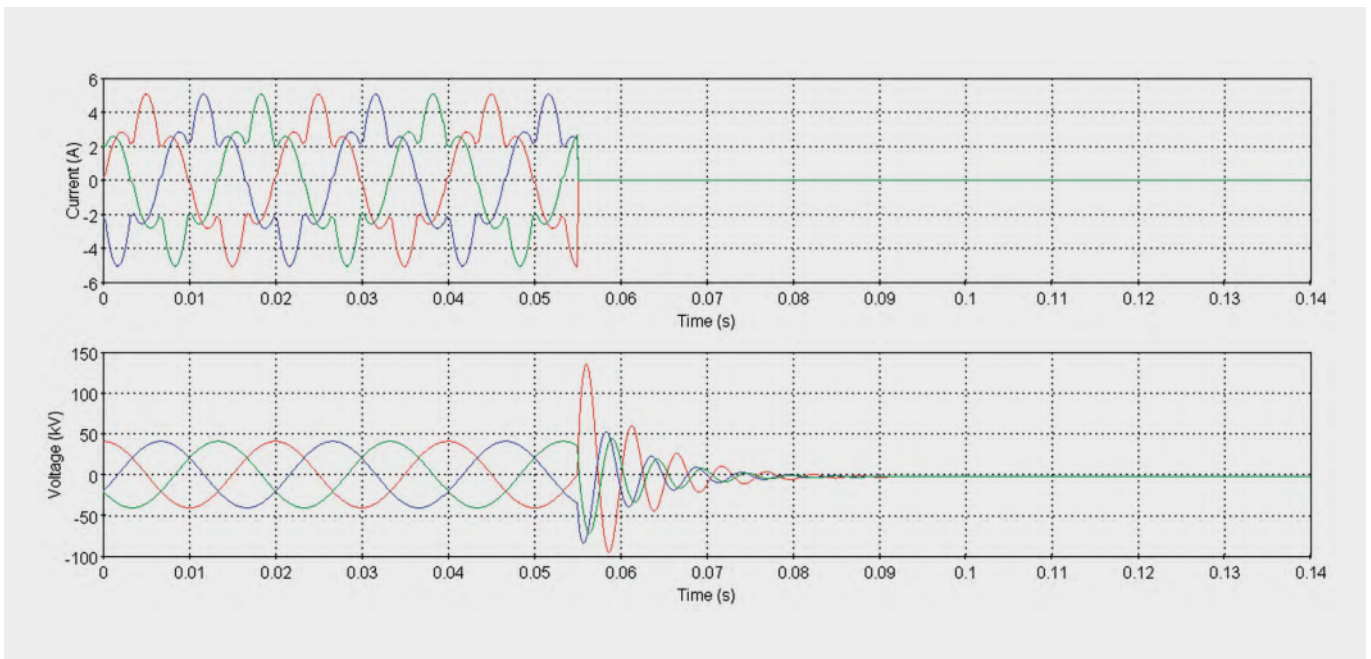


Abbildung 7: Ausschaltung des Leerlaufstroms ohne Schutzbeschildung

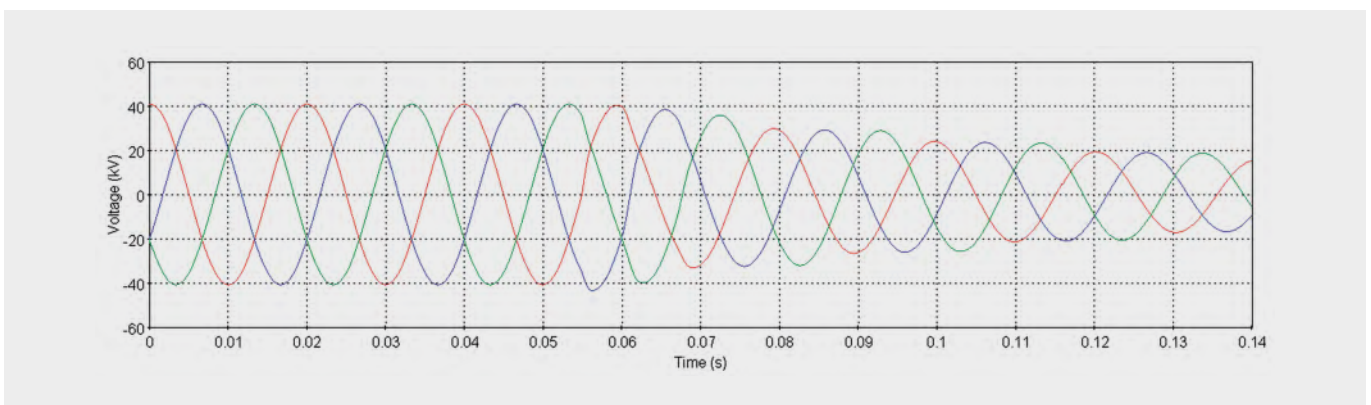


Abbildung 8: Ausschaltung des Leerlaufstroms mit Schutzbeschildungskombination

## Ergebnisse

### Unterbrechen von Kurzschlussströmen

Der neue Leistungsschalter soll nicht nur die Schalthandlungen im regulären Betrieb des Schmelzofens übernehmen, sondern auch Kurzschlussströme im Fehlerfall zuverlässig unterbrechen.

Die durchgeführten Berechnungen unter Kurzschlussbedingungen, insbesondere bei Fehlern im Bereich des Ofentransformators, zeigen, dass ohne Schutzbeschildung höhere Scheitelwerte der transienten Wiederkehrspannung (TRV) auftreten als die in den Typprüfungen für die Bemessungsspannung von 40,5 kV nach IEC 62271-100 geprüften Pegel.

Die TRV an den Löschkammerkontakten des Leistungsschalters setzt sich aus den Spannungsanteilen der Speise- und Transformatorseite zusammen. Die derzeit installierten Überspannungsableiter auf der Transformatorseite sprechen in ihrer aktuellen Auslegung nicht auf die Spannungsanhebung des Sternpunkt-potenzials im Fehlerfall an. Der Ableiter auf der Speiseseite des Leistungsschalters befindet sich am unteren Ende seiner Ansprechcharakteristik und wirkt daher verzögert.

Im Gegensatz dazu begrenzt der vorgelagerte Überspannungsableiter auf der 50-kV-Seite der Serien-Drossel mit einer Bemessungsspannung  $U_c = 38,4$  kV Überspannungen infolge von Kurzschlussunterbrechungen wirksam. Die auftretenden Spannungen bleiben dadurch unterhalb der zulässigen Werte für die Spannungsebene von 40,5 kV gemäss Typprüfung. Eine weitere Erhöhung der Betriebssicherheit kann durch eine Reduktion des Schutzpegels der Überspannungsableiter auf beiden Seiten des Ofenschalters erreicht werden.

### **Selektivität**

Die Nennströme des Ofentransformators liegen, abhängig von der Stufenschalterstellung, im Bereich von 964 A bis 1212 A. Bei einem sekundärseitigen Kurzschluss des Transformators ohne wesentlichen Einfluss des Lichtbogens werden unter normalen Betriebsbedingungen gemäss EAF-Fahrdiagramm Kurzschlussströme erreicht, die nahe am Nennstrom des Transformators liegen.

Daraus folgt, dass beim Anfahren des Lichtbogenofens keine ungewollte Schutzauslösung zu erwarten ist. Im Fehlerfall betragen die berechneten Kurzschlussströme auf der Primärseite des Ofentransformators 3,0 kA bis 5,7 kA, wodurch eine selektive Erkennung von Fehlerströmen zuverlässig möglich ist.

### **Schalten von Inrush- und Leerlaufströmen**

Die Simulationen zeigen, dass durch die Kombination von Überspannungsableitern und einer RC-Schutzbeschaltung an den Transformator клемmen keine signifikanten Überspannungen bei Schalthandlungen am leerlaufenden Transformator zu erwarten sind – weder am Leistungsschalter noch am Transformator. Eine zusätzliche RC-Schutzbeschaltung wird empfohlen. Diese sollte die vorgängig definierten Parameter erfüllen und möglichst nahe an den Transformator клемmen installiert werden. Die endgültige Auswahl der Elementwerte sowie die Positionierung der RC-Schutzbeschaltung können durch die FKH in Abstimmung mit den potenziellen Herstellern festgelegt werden.

Die vorhandenen Überspannungsableiter zwischen Aussenleiter und Erde (L-E) bilden einen zentralen Bestandteil des bestehenden Schutzkonzepts. Zur weiteren Erhöhung der Betriebssicherheit wird empfohlen, ergänzend Überspannungsableiter zwischen den Aussenleitern (L-L) zu installieren.

Darüber hinaus kann ein kontrolliertes Einschalten des Leistungsschalters die Einschaltströme wirksam reduzieren und somit die Lebensdauer des Ofentransformators verlängern.



AUTOR

**Gunnar Andrae**

M. Eng. Dipl. Ing. (FH)

Projektingenieur

# Fehlersuche bei einer Hochspannungsanlage zur Detektion von Schwachstellen in Lastwagenreifen

Die FKH unterstützt Firmen in den unterschiedlichsten Anwendungen von Hochspannung. Im Jahr 2025 wurde die FKH zur Fehlerbehebung bei einer Prüfanlage für Lastwagenreifen beigezogen.

## Karkassen-Detektor zur sicheren Aufarbeitung von Lastwagenreifen

Um ein umweltschonendes Rezyklieren von Lastwagenreifen zu ermöglichen, ist es aus Sicherheitsgründen wichtig, nur Reifen für die Aufgummierung zuzulassen, deren Karkasse unbeschädigt ist. Der Profilträger wird abgeschabt und in einem folgenden Wärmeprozess mit einer neuen aufvulkanisierten Profillage versehen. Damit gibt man der wertvollen Karkasse ein zweites Leben; die Neubereifung kann dadurch kostengünstiger erfolgen, ohne Sicherheitseinbuße.

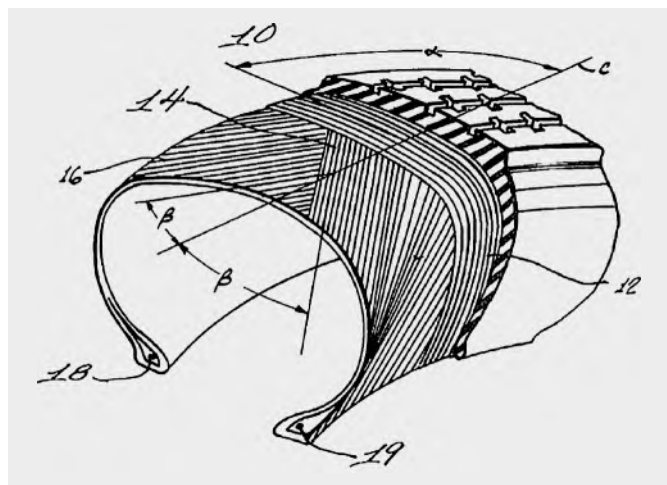


Abbildung 1: Karkasse bei Reifen, ein Stahlgewebe meist in Kreuzform angelegt, mehrschichtig (16, 14, 12), in Gummimischung eingegossen, welches dem Reifen die notwendige Stabilität, Druck- und Lastfestigkeit (Radial- und Seitenkräfte) verleiht

## Prüfverfahren

Vor dem eigentlichen Kernprozess der Vulkanisierung durchlaufen die alten Lastwagenreifen eine «Lochkontrolle der Karkasse». Man sucht somit nach den Metallgewebslücken (Defekte) in der Karkasse. Dies geschieht mit einer Hoch-

spannungsanlage. Die Lauffläche, verstanden als Karkasse mit der alten Profillfläche, wird einem elektrischen Feld ausgesetzt, welches durch 2 Elektroden bestimmt wird. Die eine Elektrode (geerdet) wird als Walze gegen die äussere Lauffläche gedrückt, die Hochspannungselektrode, gebildet aus zahlreichen losen Metall-Tentakeln, berührt grossflächig die innere Reifenfläche (Abbildung 3). Die Karkasse mit dem Metallgeflecht und die darüberliegende Profil-Lauffläche bilden somit ein geschichtetes Dielektrikum, welches dem elektrischen Feld ausgesetzt wird. Im Normalfall, also bei gesunder Karkasse und in der Folge bei quasi homogenem, gesundem Dielektrikum, vermag diese Anordnung dem elektrischen Hochspannungsfeld zu widerstehen und funktioniert somit als intakter Isolator zwischen den Elektroden.

Wird nun ein Defekt der Karkasse, in Form eines Loches, bzw. eine markante Schwächung des Dielektrikums festgestellt, erzeugt dies eine Schwächung der Isolation: Die durch die aufgebrauchte Spannung in der Grössenordnung von 35 kV aufgebaute elektrische Feldstärke bricht kurzzeitig zusammen, der Entladungsstrom wird detektiert und der drehende Reifen wird sofort angehalten, um den Fehlerort zu lokalisieren und beurteilen zu können.

## Hochspannungsquelle und deren Aufbereitung

Die Hochspannungsquelle besteht aus einer Hochspannungsquelle (Abbildung 2); wegen des Leichtbaus kann angenommen werden, dass das Gerät aus den USA das Prinzip der elektronischen Spannungsvervielfachung beinhaltet. Die Primärseite erfolgt als 110 V AC, der Ausgang wird als Pluspol und Negativpol bezeichnet. Diese bipolare Ausleitung der Hochspannung wird einem hochohmigen, kapazitiven Netzwerk und hochohmig der Anlage (Loch-Detektor) zugeführt. Die Kugelfunkenstrecke von ca. 15 mm begrenzt die Spannung auf das Testobjekt auf ca. 35 kV.



Abbildung 2: Hochspannungsquelle vor der Totalrevision. Gut sichtbar sind die oxidierten Kontakte

### Fehlerbehebung

Aufgrund der Hochspannung und der eher engen Geometrie im Schaltkasten (Abbildung 2) konnten zahlreiche unerwünschte, starke Entladungen an verschmutzten Verbindungsstellen lokalisiert werden, ebenso hohe Übergangswiderstände, sodass in der Folge die Ausgangsspannung für die Detektion zu gering war bzw. keine Durchschläge mehr erfolgen konnten. Die starke Ozonentwicklung nach kurzer Betriebszeit wies auch auf diese unerwünschten Entladungen hin. Dies war auch der Grund, dass auch ein defekter Reifen nicht mehr sicher erkannt werden konnte, da am Prüfobjekt eine zu geringe operative Spannung herrschte (35 kV).

Als erste Massnahme wurde der Hochspannungsteil zerlegt, sauber gereinigt, die Kontaktstellen mit neuen Verschraubungen (rostfreies A2-Material) versehen und der Schrank einer gründlichen Reinigung unterzogen. Die Erdungen und Ausleitungswiderstände wurden erneuert und neu verdrahtet, die Schranktür neu gut geerdet und das Prinzip der vermaschten Erdungsleiter als Bezugspotenzial umgesetzt.

Nach neuer Verdrahtung, rigoroser Reinigung aller Bestandteile und durch Neumontage durch ein Elektrounternehmen funktioniert die Anlage wieder zuverlässig.



Abbildung 3: Gesamtanlage mit Zuführung der Hochspannung auf die Tentakel im Innern des Reifens, vor der Totalrevision



AUTOR

**Giorgio Friedrich**

Dr. sc. techn. ETH  
Fachingenieur (temporär)

# FKH-Labor für Isolierölanalysen

## Analyseaufträge

Gegenüber den vergangenen Jahren stieg die Anzahl analysierter Proben im Jahr 2025 um ca. 20% an und lag bei 2177 Proben. Auffallend ist der markante Anstieg der Anzahl dielektrisch-chemischer Analysen, während die Anzahl Probenahmen durch FKH-Mitarbeiter nicht mehr so hoch wie im Rekordjahr 2024 war. Der Umsatz konnte nochmals gesteigert werden und liegt damit an der Spitze der bisher erreichten Umsätze.

## Personelles

Die sehr gute Auftragslage im Jahr 2025 brachte das bestehende Personal trotz grosser Unterstützung von Adamo Mele bei der Probenahme an die Kapazitätsgrenze. Es wurde darum beschlossen, einen Chemielaboranten einzustellen. Für die ausgeschriebene Stelle konnte mit Patrick Neuhaus ein idealer Kandidat verpflichtet werden.

## Notfalldienst

Im Jahr 2025 wurden keine Notfalleinsätze nach Buchholzalarmen durchgeführt. Es wurden auch keine von Kunden selbst gezogene Gasproben ins Labor angeliefert.

## Probenahmen an Stufenschalter

In den letzten Jahren vermehren sich die Anfragen für Isolierölanalysen an Vakuumstufenschaltern. Das Problem dabei bildet die Probenahme. Da die lange Rohrleitung vom Stufenschalter zum Probeentnahmentventil zuerst mit 3 bis 5 Liter Öl (je nach Höhe des Transformators) gespült werden muss, um eine repräsentative Probe des sich im Stufenschalter befindenden Öls zu erhalten, sinkt das Niveau im Expansionsgefäss häufig auf einen tiefen Stand. Manchmal wird sogar das tiefste zulässige Niveau unterschritten, was ein sofortiges Nachfüllen erfordert. Das Nachfüllen des Expansionsgefässes erfolgt nicht durch die FKH-Mitarbeiter. Kunden, die eine Analyse des Stufenschalteröls wünschen, sollten sich bewusst sein, dass nach der Probenahme evtl. Öl ins Expansionsgefäss nachgefüllt werden muss. Bisher wurden bei Stufenschalterölproben keine kritischen Werte gefunden.

## Mit synthetischen Estern gefüllte Bahntransformatoren

Wir erhalten vermehrt Proben von Bahntransformatoren zur Analyse angeliefert. Typischerweise sind diese mit einem synthetischen Ester gefüllt. Bei der Alterung dieses Öls ist das Ansteigen des Wassergehaltes kritisch, da das Wasser die Hydrolyse des Esters begünstigt. Dabei werden weiteres Wasser und Säuren gebildet. Somit lautet die oft ausgesprochene Empfehlung, das Öl mittels Trocknungskolonnen zu trocknen, auch bevor der in der Norm IEC 61203 festgelegte Grenzwert für den Wassergehalt erreicht ist. Mit dieser Massnahme kann der Wassergehalt beträchtlich reduziert werden. Auffallend ist jedoch, dass bei auf diese Art behandelten Ölen der Verlustfaktor (Tg-Delta 90°C) stark ansteigt. Die Gründe hierfür sind nicht geklärt. Wie die Erfahrung zeigt, fällt der Verlustfaktor bei späteren Analysen wieder auf ein mittleres Niveau zurück.

## Qualitätssicherung

Zur Erhaltung der 2012 erworbenen Akkreditierung gemäss ISO/IEC 17025 als «Prüfstelle für Isolieröl und Buchholz-Gas» durch die Schweizerische Akkreditierungsstelle SAS wird jedes Jahr an einem internationalen Ringversuch teilgenommen. Von den 20 geprüften Parametern lagen im Jahr 2025 bei der FKH 19 im «guten» und ein Parameter im «unbefriedigenden» Bereich. Dieser eine Parameter betrifft die CO<sub>2</sub>-Konzentration bei der Zersetzungsgasanalyse. Die Konzentration der Ringversuchsprobe für CO<sub>2</sub> lag bei ca. 50 µl/l. Dies ist ein sehr tiefer Wert, der bei realen Proben nur bei neu entgastem Öl vorkommt. Typische CO<sub>2</sub>-Konzentrationen von Transformatoren in Betrieb liegen bei 500 bis 8000 µl/l. Wie unsere regelmässig durchgeführten Überprüfungen mit zertifizierten Standards zeigen, messen wir in höheren Konzentrationen richtig.



AUTOR

**Peter Frey**

Leiter Isolieröllabor

# Untersuchungen zum Teilentladungsverhalten in umweltfreundlichen Isoliergasen

Nur wenn wir verstehen, wie sich Fehlerstellen in Schaltanlagen unter realen Bedingungen verhalten, sind wir auch in der Lage, diese zuverlässig zu detektieren und das davon ausgehende Risiko für den Betrieb abzuschätzen. Gasisolierte Schaltanlagen führen die Ströme gekapselt innerhalb von geerdeten Aluminiumgehäusen und nutzen hauptsächlich Gase unter Druck, um die spannungsführenden Leiter gegen die Gehäuse zu isolieren. Ohne das Öffnen der Gehäuse können darin enthaltene Fehlerstellen nicht direkt, sondern nur indirekt nachgewiesen werden. Fehlerstellen schwächen aber die Isolation und führen dazu, dass ein kleiner Teil der Isolationsstrecke Hunderte Male pro Sekunde überbrückt wird. Dabei entsteht eine Serie von «Mikrolichtbögen», welche als Teilentladungen bezeichnet werden. Teilentladungen können sich über verschiedene Mechanismen und über unterschiedliche Zeitskalen zu einem vollständigen Durchschlag der Isolationsstrecke entwickeln (und somit zum Ausfall der Schaltanlage bzw. von Teilen der Schaltanlage führen). Die Messung von Teilentladungen ist daher geeignet, den Zustand eines Betriebsmittels aufgrund der Charakteristika von Fehlerstellen zu diagnostizieren und zu lokalisieren.

Die physikalischen Entladungsvorgänge lassen sich auf verschiedene Arten indirekt nachweisen:

- Mittels konventioneller TE-Messung wird das Integral der Ladungsverschiebung an einem parallel geschalteten Koppelkondensator gebildet und mit einem bekannten Kalibrierpuls verglichen.
- Mittels UHF-Antenne wird die von der Entladung ausgestrahlte elektromagnetische Welle empfangen, welche sich im Gasraum ausbreitet und innerhalb des Gehäuses in komplizierter Weise reflektiert, gedämpft und gefiltert wird.
- Mittels akustischer Sensoren kann unter günstigen Voraussetzungen auf der Oberfläche der Gehäuse eine von der Teilentladung erzeugte Druckwelle gemessen werden, welche sich vom Entladungsort auf das Gehäuse überträgt.
- Mittels Lichtsensoren werden z.B. an einem Schauglas ankommende direkte oder indirekte Lichtemissionen der Entladungserscheinung gemessen.

Teilentladungserscheinungen weisen eine charakteristische Verteilung der Entladungspulse relativ zur Spannungsamplitude und zum Phasenwinkel der Spannung auf. Abbildung 1 zeigt das ladungsbasierte Teilentladungsmuster einer Fehlerstelle «Spitze an Erdpotenzial». Das charakteristische Muster für diesen Fehlertyp entsteht dadurch, dass physikalisch bedingt die Entladungspulse nahe dem positiven Spannungsmaximum entstehen (die Spitze auf Erdpotenzial emittiert Elektronen), so dass sich gemessen über mehrere Perioden eine Punktwolke ausbildet. Jeder Punkt auf dem Bild entspricht einem einzelnen Entladungspuls. Mit steigender Spannung verändert sich das physikalische Verhalten und es können sich auch in der zweiten Halbwelle nahe dem negativen Spannungsmaximum Entladungspulse bilden:

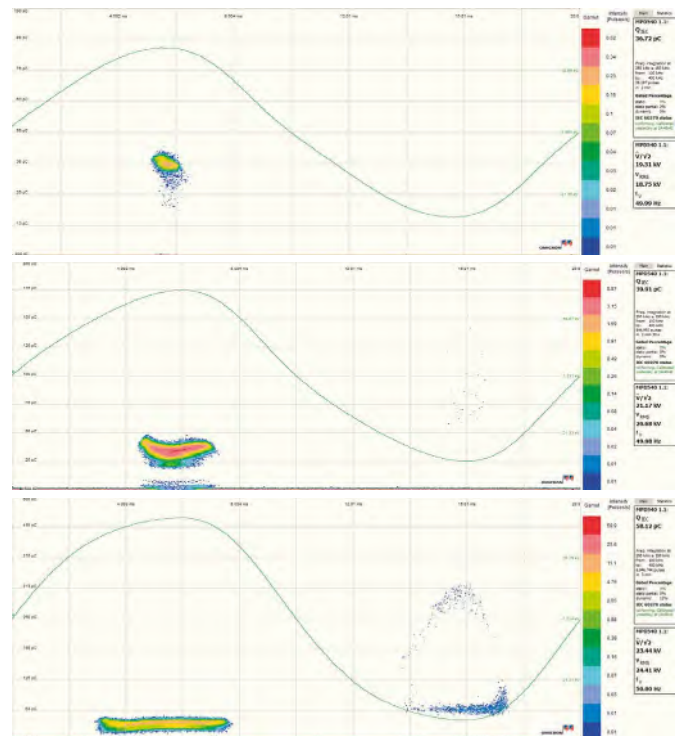


Abbildung 1: Typisches Beispiel eines Teilentladungsmusters einer Spitze auf Erdpotenzial und wie sich das Muster mit steigender Spannungsamplitude verändert (oben: PD-Einsatzspannung PDIV, Mitte: 1,1x PDIV, unten: 1,2x PDIV). Das Teilentladungsmuster wurde in synthetischer Luft bei einem Druck von  $p_{abs} = 5$  bar an einer 5 mm langen Stahlnadel mit 200  $\mu\text{m}$  Spitzenradius bei einem Abstand von 15 mm zwischen Spitze und Plattenelektrode gemessen

Unsere Erfahrung in der Beurteilung von Teilentladungen in gasisolierten Schaltanlagen basiert zu grossen Teilen auf dem Verständnis der physikalischen Vorgänge, wie sie in SF<sub>6</sub> oder in Luft in Referenzanordnungen ablaufen. Für SF<sub>6</sub>-gefüllte Schaltanlagen haben wir zudem über Jahrzehnte eine Unmenge an Teilentladungsmustern von realen Fehlerstellen in Schaltanlagen gesammelt, von denen wir aufgrund der anschliessenden Fehlerbehebung nachweislich wissen, von welcher Fehlerstelle sie verursacht wurden.

Was aber, wenn das Isoliermedium gewechselt wird und sich damit die Parameter der physikalischen Prozesse verändern, welche die Ladungsverschiebungen hervorrufen und die elektromagnetischen Wellen, die optischen Signale und die akustischen Druckwellen aussenden? Dann müssen wir zurückgreifen auf kontrollierbare Referenzanordnungen. Für typische Fehlerstellen müssen wir den Einfluss des Gastyps auf die Entladungserscheinungen systematisch ausmessen und den beobachteten Einfluss auf die ausgesendeten Signale dokumentieren, welche wir zur Beurteilung des Fehlertyps verwenden. Genau dies haben wir über das vergangene Jahr an der FKH in aufwendigen Experimenten im Kleinlabor getan.

Moderne, umweltfreundliche Schaltanlagen werden mit einer Mischung der Gase N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> oder C4-FN befüllt. Die verwendeten Gase und Gasmischungen variieren von Hersteller zu Hersteller und Anwendungsgebiet. Michael Walter (Convener), Glenn Behrmann (Secretary) und Stefan Neuhold sind Mitglieder der internationalen CIGRE-Arbeitsgruppe D1.78, welche zum Zweck hat, das Teilentladungsverhalten in diesen alternativen Isoliertgasen in einem Ringversuch mit bis zu 10 teilnehmenden Laboren zu untersuchen und anschliessend die Resultate zu publizieren. Unterstützt wurden wir in diesem Jahr von den Praktikanten Paul Demel aus Magdeburg (Deutschland) und Rona Dehari aus Nordmazedonien. Sie haben entsprechende Experimente als Teil ihrer Praktikumsarbeiten durchgeführt. In Abbildung 2 ist der Versuchsaufbau

gezeigt, welcher mit einem beliebigen Gasgemisch mit bis zu einem Druck von  $p_{\text{abs}} = 16$  bar befüllt werden kann und in welchen die in der Praxis häufig vorkommenden Fehlerstellen «Spitze-Platte», «frei bewegliches Partikel» und «Partikel auf Isolator» eingebaut wurden. Es wurde hierbei sehr viel Aufwand betrieben, durch das Design der Testzelle die Abhängigkeit der Experimente von möglichen Einflussfaktoren zu minimieren und die optimale Messprozedur zu ermitteln. Dies ermöglicht, dass zukünftige Experimente unter exakt denselben Bedingungen in einem anderen Labor durchgeführt werden können und im Idealfall zu denselben Resultaten führen. Das Teilentladungsverhalten ist neben der Abhängigkeit vom Mischverhältnis der Gase auch noch abhängig vom Gasdruck, von der Grösse, Position und Form der Fehlerstelle, von mikroskopischen Veränderungen an der Fehlerstelle durch die Entladungserscheinung, vom Hintergrundfeld der Testzelle und von der kosmischen Hintergrundstrahlung, welche das Startelektron der Entladung zur Verfügung stellt, von Aufladungseffekten von Isolierstoff und von zahlreichen weiteren Faktoren.

Aber was ist nun genau der Einfluss der Gasmischung auf die messbaren Teilentladungssignale? Es handelt sich bei Gasmischungen weiterhin um eine Gasisolation unter Druck als Isoliermedium. Die grundlegenden physikalischen Vorgänge sind also nicht so stark verschieden von denjenigen in SF<sub>6</sub>. Auch die Dimensionen der Schaltanlage und die relative Permittivität der Gase unterscheiden sich nicht wesentlich von SF<sub>6</sub>-Anlagen, sodass das Ausbreitungsverhalten der Entladungspulse in erster Linie gleich abläuft. Die grundlegenden Formen der Teilentladungsmuster bleiben also erhalten und wir können einen Grossteil der Erfahrung, welche wir mit SF<sub>6</sub>-befüllten Schaltanlagen gemacht haben, auch auf alternative Isoliertgasmischungen übertragen. Mit der Änderung der Gasmischung verändern sich aber die Einsatzspannung der Teilentladung, der Abstand zwischen der Teilentladungseinsatzspannung und der Durchschlagsspannung, die Steilheit der

Abbildung 2: Zeigt die Testzelle und die verschiedenen eingebauten Fehlerstellen:



Testzelle



Versuchsaufbau im Kleinlabor in Niedergösgen



Fehlerstelle «Spitze auf Erdpotential»



Fehlerstelle «bewegliches Partikel»



Fehlerstelle «Verschmutzung auf Isolierstoff» (in diesem Fall ein definiertes, am Isolator haftendes Partikel)

Abbildung 2: Versuchsaufbau und Testzelle zur Untersuchung von Fehlerstellen in alternativen Isoliergasmischungen

Entladungspulse und somit das gemessene UHF-Spektrum, die Amplitude der Ladungsverschiebung und der emittierten Wellen und somit die Amplitude der Teilentladung.

Der Einfluss des Gases auf das Entladungsverhalten variiert mit dem Typ der Fehlerstelle, da ihnen unterschiedliche physikalische Entladungsmechanismen zugrunde liegen. Das feldabhängige Teilentladungsverhalten in einem Lunker beispielsweise bleibt unverändert, solange er abgeschlossen in einem Isolator existiert und nicht in Kontakt mit dem Isoliergas kommt. Die Entladungserscheinung eines hüpfenden metallischen Partikels ist dominiert durch die Kräfte des elektrischen Feldes, welche die Bewegung des Partikels auslösen. Diese sind unabhängig vom Isoliergas, gleichwohl kann die Viskosität des Gases Einfluss auf die Flugbahn der Partikel nehmen. Bei der Spitze-Platte-Anordnung hingegen wird die Entladungserscheinung dominiert durch eine sich an der Spitze bildende und vorwachsende Lawine von Elektronen. Letzteres Verhalten wird stark durch die Elektronegativität und Elektroaffinität der Gase beeinflusst. Indem die Gasmischung das Vorwachsen des Entladungskanals beeinflusst, wirkt sie sich verglichen mit dem Teilentladungsverhalten von hüpfenden Partikeln stärker auf das Teilentladungsverhalten bei Spitzen aus.

Die Untersuchungen der D1.78-Arbeitsgruppe sind weiterhin im Gange und es müssen die Resultate von verschiedenen Laboren erst noch zusammengetragen und verglichen werden. Für die FKH ist die Teilentladungsmessung aber weiterhin eine ihrer Kernkompetenzen. Umso wichtiger ist es, dass die FKH sich aktiv engagiert, ihre Erfahrung in der Beurteilung von Teilentladungen in alternativen Isoliergasen ausweitet und dazu beiträgt, das Verständnis der zugrunde liegenden Prozesse von Teilentladungen zu verbessern.



AUTOR

**Dr. Michael Walter**

Dr. sc. ETH  
Geschäftsleiter



AUTOR

**Dr. Stefan Neuhold**

Dr. sc. techn. ETH  
Projektingenieur



AUTOR

**Glenn Behrmann**

B.S.E.E. Union College  
Fachingenieur

# Wissen nutzbar machen – wie die FKH ihren Know-how-Pool öffnet

Die FKH hat seit ihrer Gründung im Jahr 1937 Untersuchungen zu den unzähligen Fragestellungen im Zusammenhang mit Hochspannungsbetriebsmitteln und deren Zusammenwirken in Stromnetzen durchgeführt. Als Dienstleistung für ihre Mitglieder hat sie in Abnahmeprüfungen vor Ort und in Entwicklungsprüfungen in Niedergösgen Betriebsmittel getestet und die Testresultate in über 6000 Berichten dokumentiert. Durch ihre wissenschaftliche Arbeit und die Teilnahme an Konferenzen hat die FKH über 75'000 Publikationen gesammelt und archiviert. Zusammengenommen bildet dies einen wertvollen Wissensschatz, den die FKH zukünftig noch besser nutzbar machen möchte.

Die Durchführung von Studien erfordert häufig eine Literaturrecherche. Obwohl die Publikationen thematisch sortiert sind, ist sie trotzdem zeitaufwendig. Die FKH hat sich somit die Frage gestellt, ob die rasante technologische Entwicklung im Bereich KI nicht heute Werkzeuge zur Verfügung stellt, mit welchen die Literaturrecherche und das Formulieren von Textabschnitten vereinfacht werden können. In einem ersten Schritt wurden über 25'000 Publikationen, welche nur analog vorhanden waren, mittels OCR-Scan digitalisiert. Im Sommer 2025 hat der Student Peter Vrábel aus der Slowakei an der FKH ein viermonatiges Praktikum absolviert, mit der Aufgabe, einen Chatbot zu entwickeln und ihn mit den gesammelten Dokumenten der FKH zu füllen.

Da die FKH im Feld der künstlichen Intelligenz Neuland betritt, wurde für das Projekt eine Kooperation mit der Schweizer Firma Business Systems Integration (BSI) eingegangen. BSI automatisiert als Dienstleistung die Kommunikation von Grossfirmen wie Banken, Versicherungen und Energieversorgern mit Privatkunden unter Verwendung von KI-Assistenten. Sie betreibt eine Plattform, in welcher ein Grossteil der heute verfügbaren sprachbasierten KI-Modelle als vorkonfigurierte und austauschbare Blöcke mit standardisierten Schnittstellen zur Verfügung steht. Durch die Kombination verschiedener

Modelle, welche als Funktionsblöcke eingebunden werden können, lassen sich mit vernünftigem Aufwand Tools erstellen oder Prozesse automatisieren. Im Vorfeld des Entwicklungsprojekts wurden durch die FKH folgende Rahmenbedingungen definiert, welche die Wahl der eingesetzten Modelle und das Vorgehen im Projekt beeinflussten:

1. Die FKH hat in der 2024 verabschiedeten Langfriststrategie die «Gezielte Auseinandersetzung mit neuen digitalen Technologien, um aus Daten und Expertise effizient Erkenntnisse abzuleiten» als Schwerpunktziel aufgenommen. Der Chatbot ist in diesem Kontext als Versuchsballon und erster Schritt zu verstehen. Die FKH wollte deshalb nicht nur ein Modell extern einkaufen, sondern eine eigenständige Lösung im Rahmen einer Praktikumsarbeit selbstständig entwickeln. Dies erlaubt eine vertiefte Auseinandersetzung mit dem Themengebiet KI und hilft abzuschätzen, mit welchem Aufwand und in welchen Bereichen die FKH zukünftig KI-Tools wertschöpfend einsetzen kann.
2. Die Daten (und insbesondere die Berichte) der FKH beinhalten teils sensitive Informationen über das Schweizer Stromsystem. Entsprechend muss verhindert werden, dass diese Daten an Drittparteien abfliessen können. Um dies zu verhindern, hat man sich beim Chatbot auf Open-Source-Modelle beschränkt, welche auf BSI-interner Hardware laufen. Zudem erfolgt die Vorerarbeitung der Dokumente auf PCs der FKH und die Dokumente als Ganzes werden nicht in die Cloudumgebung geladen.
3. Die Modelle sollten mit der rasanten Entwicklung der KI-Modelle Schritt halten können, ansonsten besteht das Risiko, dass in einigen Jahren bessere Modelle den Chatbot obsolet machen würden. Die Nutzung der durch die BSI zur Verfügung gestellten KI-Funktionsblöcke hat aufgrund der standardisierten Schnittstellen den Vorteil, dass ein Block mit geringem Aufwand gegen einen mächtigeren ausgetauscht

werden kann, ohne dass dies eine Umprogrammierung oder ein Neutrainieren des Chatbots erfordert.

4. Die grösste Herausforderung bei heutigen KI-Tools ist das sogenannte Halluzinieren. Die Modelle verstehen im Prinzip nicht, welche Fragen eingegeben werden, auch wenn die Qualität und der Detailgrad der Antwort dies gelegentlich suggerieren. Der Inhalt der Antwort basiert auf der Ähnlichkeit der Struktur zwischen der Frage und möglichen Antwortsätzen. Mit statistischen Methoden werden die am wahrscheinlichsten zusammenpassenden Formulierungen als Antwort generiert. Die Problematik lässt sich am besten durch ein kleines Experiment zur Bilderzeugung veranschaulichen, welches in Abbildung 1 dargestellt wird.. Die FKH steht für Qualität und Wissenschaftlichkeit. Diesen Anspruch haben wir auch an KI. Im weiteren Verlauf des Beitrags zeigen wir, wie wir mit dieser Problematik umgegangen sind.

### Aufbau des Chatbots

Die Funktionsweise des Chatbots basiert auf dem Blockdiagramm in Abbildung 2. Die Verarbeitungsprozedur besteht

aus mehreren Schritten. Die Schritte 1 und 2 dienen hierbei dem Einlesen der Dokumente in die Datenbank. Die Schritte 3–6 dienen der Beantwortung von Fragen eines Benutzers:

1. *Auslesen der Headerdaten:* Wie in Abbildung 2 dargestellt, werden die Schlüsselinformationen «Dokumenttitel», «Veröffentlichungsjahr», «Schlagwörter» und «Autor» mit einem Python-Script automatisiert aus dem Dokument ausgelesen.
2. *Einlesen der Dokumente:* Jedes einzulesende Dokument wird in Textstellen zerschnitten und zusammen mit den Headerdaten ans Embedding-Modell übergeben. Dieses wandelt den Text der Textstellen in einen Vektor um und speichert diesen in einer Vektordatenbank.
3. *Erstellen einer Frage:* Dem User wird eine Webseite dargestellt, in welcher er eine technische Frage zu einem Hochspannungsthema in deutscher oder englischer Sprache eingeben kann. Ein Large Language Model (LLM) übersetzt die Frage ins Deutsche. Anschliessend wird sie durch das Embedding-Modell ebenfalls in einen Vektor umgewandelt.



Abbildung 1: Beispiel von Fehlern, welche bei der Generierung von KI-Inhalt entstehen. Das Bild wurde mit einem gängigen Videogenerator erstellt, mit dem Modell: <https://artlist.io/image-to-video-ai>. Es wurde folgende Anfrage eingegeben: «Zeichne mir ein Bild, welches die Arbeit der Fachkommission für Hochspannungsfragen beschreibt.» Das Bild zeigt zwar eine thematisch passende und grafisch ansprechende Szenerie, es sind aber offensichtliche technische Fehler enthalten

4. *Textstellensuche durch Retrieval-Augmented Generation (RAG):* Ein RAG-Modell sucht in der Vektordatenbank die n Textstellen, welche am besten zur Fragestellung passen. Die Anzahl der Textstellen ist aktuell manuell wählbar, soll aber in Zukunft automatisch aufgrund der Relevanz ermittelt werden.

5. *Erzeugung des Ausgabetextes mittels LLM:* Die gefundenen Textstellen werden einem LLM übergeben. Dieses formuliert unter Verwendung der Textpassagen einen Antworttext auf die Frage und übergibt den Antworttext und die Headerdaten der verwendeten Dokumente zurück an die Webseite.

6. *Darstellung der Resultate:* Wie in Abbildung 4 dargestellt, stellt die Webseite die Antwort zur gestellten Frage dar und listet die gefundenen Dokumente auf, aus welchen Textstellen verwendet wurden. Durch die Angabe der Headerinformationen der Dokumente erhält der Benutzer ein erstes Indiz zur Relevanz der Textstelle. Zusätzlich wird ihm ein direkter Link zu dem Dokument angezeigt, sodass er das Dokument direkt einsehen kann, wenn er das wünscht.

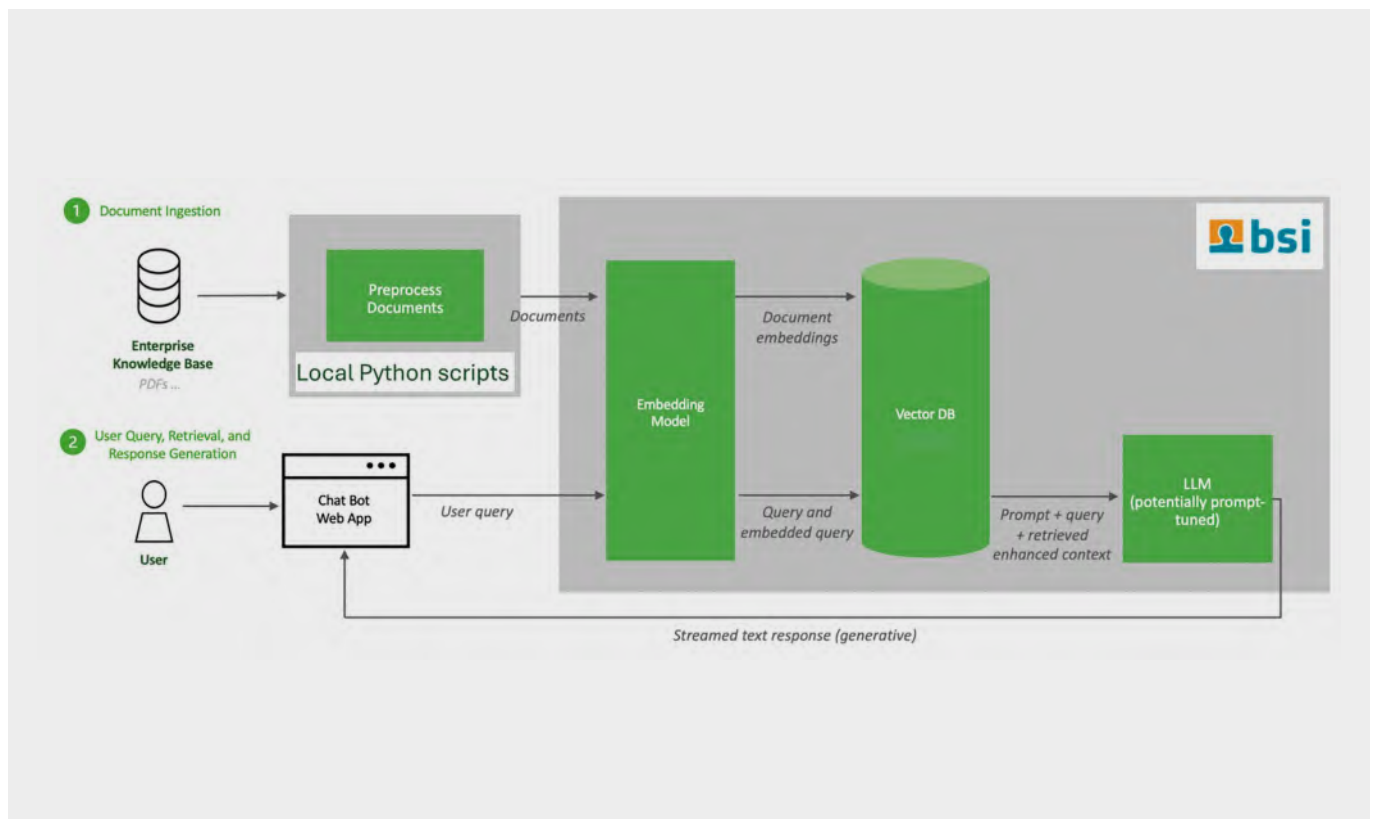


Abbildung 2: Blockdiagramm der Funktionsweise des Chatbots

**Titel**

**Veröffentlichungsjahr**

Mathematical approach to model rapidly elongated free-burning arcs in air in electric power circuits

2003

**Autor**

Stefan Berger, Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**Summary**

A two-terminal equivalent model of rapidly elongated free-burning arcs in air is presented that is designed to be used in systematic simulations of both existing and new switching concepts of circuit breakers in electric power circuits. The proposed model is based on the combination of a Mayr-type and a Cassie-type differential equation. These are modified in order to take into account the influence of the elongation of the arc on the power balance of the arc as well as the voltage drop near the electrodes. Comparisons are made of experiments and simulations carried out in a current-commutation circuit using currents of about 1 kA and arc voltages of about 100 V. The simulation results are in good agreement with the measured current and voltage traces.

**Key words:**

arc model, current commutation, Mayr equation, Cassie equation

**Key words**

**1. Introduction**

The principles of current interruption of today's high voltage circuit breakers in electric power distribution and transmission systems have been thoroughly investigated for many decades. Although these established techniques still offer several possibilities of optimization and improvement, conventional circuit breakers have

never did show potential under laboratory conditions [1],[3]. Holaus gives only a rough description of the commutation process and the interaction of the numerous burning arcs in the series connection of mechanical contacts and the electric circuit. Consequently an adequate description of the dynamic behavior of the arc during the current commutation is required to predict the breaking capability of the electromechanical hybrid system under various conditions which is on the other hand necessary to evaluate the applicability of such a hybrid switch in electric power systems.

**2. Test Circuit**

As mentioned in the introduction the current commutation process plays an important role in electromechanical hybrid switching systems. It is roughly comparable to the current commutation from the nominal contact to the arcing contact in conventional circuit breakers. However, very fast switching is necessary to obtain the required commutation time of typically less than 1 ms in a hybrid switching system even at high currents. Fortunately the voltage across the parallel path is not too high. It is expected to be only a few hundred volts. [2],[3]



**Header**

Mathematical approach to model rapidly elongated free-burning arcs in air in electric power circuits

**Autor(-en):** Stefan Berger

**Jahr:** 2003

**Schlagwörter:** arc model, current commutation, Mayr equation, Cassie equation

Abbildung 3: Verarbeitung der Textstellen und Extraktion der Headerdaten

**walter.fkh**

Give me a list of authors that deal with free burning arcs

Modus: Schreibmodus

---

**Assistent**

Hier ist eine Liste von Autoren, die sich mit dem Thema "free burning arcs" beschäftigt haben:

- J. F. Perkins
- L. S. Frost
- T. E. Browne, Jr.
- J. J. Lowke
- J. Kiefer
- B. Oerzen
- T. Schoenemann
- P.H. Schavemaker
- L. van der Sluis
- C. Heuser
- G. Pietsch
- I. Gallimberti
- C. Wu
- E. E. Kunhard
- R. Morrow
- J. M. Wetzler
- P. C. T. van Der Laan
- J. T. Kennedy
- E. H. R. Gaxiola
- R. Bartnikas
- J. P. Novak
- G. C. Crichton
- P. W. Karlsson
- A. Pedersen
- L. Niemeyer

Bitte beachten Sie, dass diese Liste nicht vollständig sein muss, da es viele weitere Autoren gibt, die sich mit diesem Thema beschäftigt haben könnten.

---

**Weitere Suchergebnisse**

**EFFECT OF NOZZLE PARAMETERS ON SF6 ARC INTERRUPTION**  
 Autor(-en): John F. Perkins, Leslie S. Frost  
 Jahr: 1972

**Sparkover of rod gaps stressed with impulse voltages of nonstandard waveshapes**  
 Autor(-en): Allibone, Dring, Dragan  
 Jahr: 1975  
 Schlagwörter: Spark gaps, Sparks

**Unbekannter Titel**  
 Jahr: 1970

**Encyclopedia of Chemical Processing and Design**  
 Autor(-en): John J. McKetta, William A. Cunningham  
 Jahr: 1983

**Mathematical approach to model rapidly elongated free-burning arcs in air in electric power circuits**  
 Autor(-en): Stefan Berger  
 Jahr: 2003  
 Schlagwörter: arc model, current commutation, Mayr equation, Cassie equation

**Unbekannter Titel**  
 Jahr: 1970

**Unbekannter Titel**  
 Autor(-en): C. F. Wagner  
 Jahr: 1983  
 Schlagwörter: Stroke Current, Return Stroke

**Measurement and Simulation of PD in Epoxy Voids**  
 Autor(-en): Gutfleisch, Niemeyer  
 Jahr: 1995

**Air insulation at large spacings**  
 Autor(-en): Jones, Waters  
 Jahr: 1978  
 Schlagwörter: Insulation testing, Spark gaps, Impulse testing

Abbildung 4: Beispiel einer Suchanfrage, in welcher das in Abbildung 3 eingelesene Dokument gefunden und als relevant zur Beantwortung der gestellten Frage eingestuft wurde

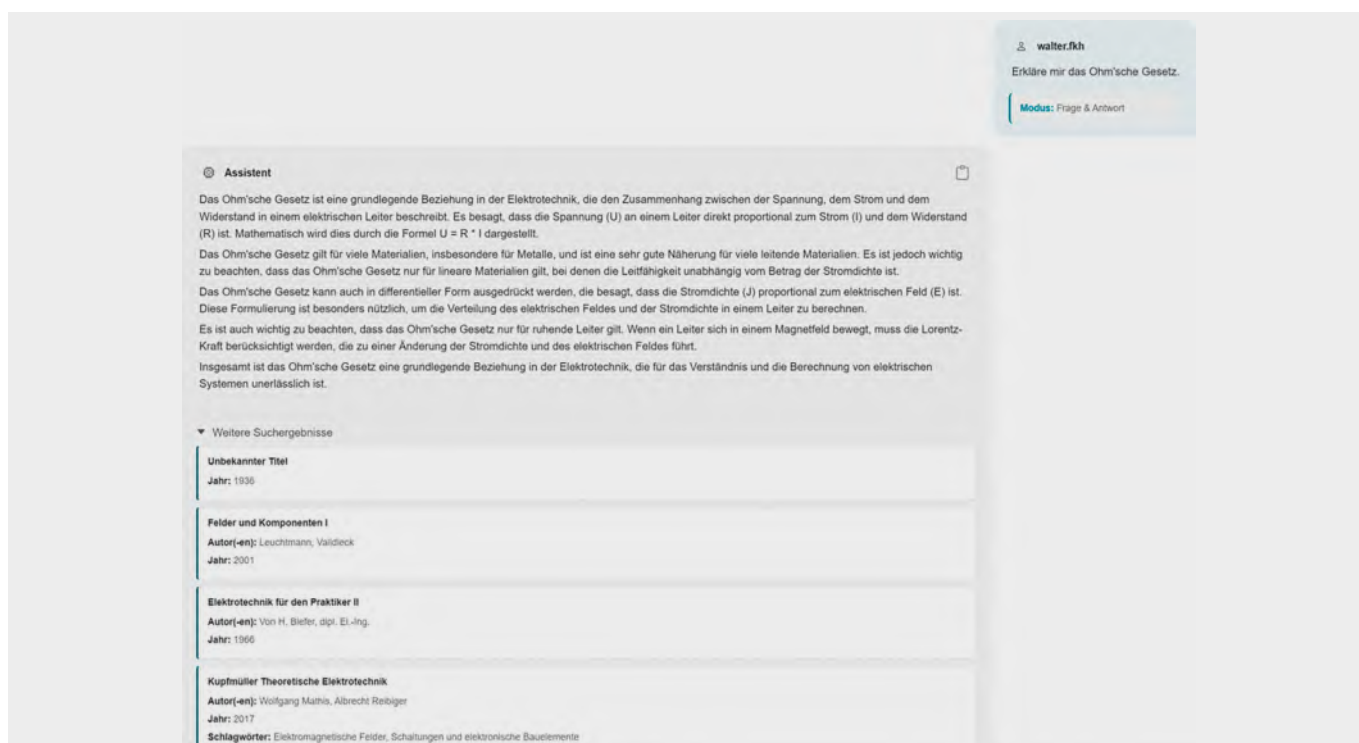


Abbildung 5: Weiteres Beispiel einer beantworteten Frage

## Fazit

Mit beratender Unterstützung von BSI hat die FKH einen Chatbot selbstständig entwickelt und mit dem Dokumentenbestand der FKH befüllt.

Wenn passende Quellendokumente vorhanden sind, werden sie gefunden und es wird ein grösstenteils korrekter und qualitativ gut formulierter Text erzeugt. Wie andere Chatbots auch neigt der FKH-Chatbot aktuell noch dazu, gelegentlich zu halluzinieren, insbesondere falls Fragen zu Themen gestellt werden, für die nicht ausreichend Quellendokumente vorhanden sind. Indem dem Anwender aber die Quelleninformation der Textstellen zusammen mit der Antwort präsentiert wird, ist es dem Anwender sehr einfach möglich, durch Nachlesen im entsprechenden Dokument die Antwort auf ihre Richtigkeit zu überprüfen.

Auch wenn das Tool noch Optimierungspotenzial hat, wird es bereits aktiv in der Literaturrecherche für Studien bei der FKH eingesetzt und reduziert den Rechercheaufwand deutlich. Das Projekt war für die FKH ein optimaler Spielplatz, um erste Erfahrungen mit KI-Tools zu erlangen und auszuloten, wie eine Herangehensweise für die Entwicklung von KI-Tools für weitere Anwendungsfälle aussehen könnte.



AUTOR

**Dr. Michael Walter**

Dr. sc. ETH  
Geschäftsleiter

# Open-Source-Freeware-Programm HVLBuzz 2

Im Jahr 2023 hat die FKH die fachliche Betreuung und Wartung des im Hochspannungslabor der ETH entwickelten Open-Source-Programms HVLBuzz übernommen (vgl. FKH-Jahresbericht 2023, Seite 36). Mit der Python-Applikation HVLBuzz können neben den Schallemissionen auch das elektrische und das magnetische Feld in der Nähe von Freileitungen berechnet werden. Sie dient z.B. als Werkzeug für die Durchführung der notwendigen Berechnungen für Umweltverträglichkeitsprüfungen bei Freileitungsprojekten. Das Programm beschränkt sich auf ein zweidimensionales Leitungsmodell, wodurch die notwendigen Geometrien und die Berechnungsparameter in wenigen Minuten eingegeben werden können.

Im vergangenen Jahr wurde das Python-Programm HVLBuzz zusammen mit externen Spezialisten (siehe Projektteam am Ende des Beitrags) vollständig neu in der Programmiersprache RUST implementiert und mit den Funktionen des früher bei der FKH entwickelten Programms EBL erweitert.

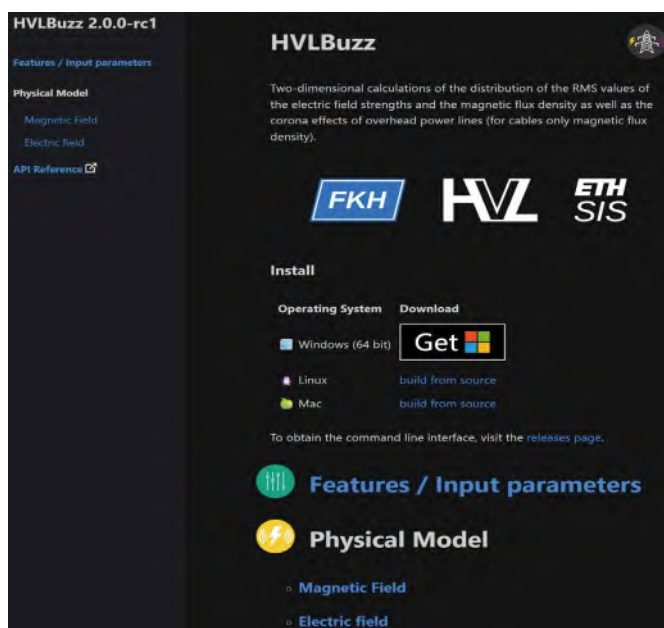


Abbildung 1: Internetzugang zu HVLBuzz 2 für Benutzer; Programm und Dokumentation: <https://fkh-ch.gitlab.io/emc/>. Die Version 1 von HVLBuzz ist nach wie vor unter dem Link [https://gitlab.com/ethz\\_hvl/hvlbuzz](https://gitlab.com/ethz_hvl/hvlbuzz) bis auf Weiteres verfügbar. Die Version wird jedoch nicht mehr weiterentwickelt

Die neue Version 2 von HVLBuzz ist als Betaversion auf dem Open-Source-Entwicklungssystem GitLab zum Download für jedermann verfügbar (Abbildung 1).

Die für die neue Version verwendete Programmiersprache RUST ist eine moderne, robuste Compilersprache, woraus eine hohe Rechengeschwindigkeit resultiert. Sie verbindet folgende Vorteile:

- Sicherheit vor Speicherfehlern
- Typsicherheit
- Thread-Sicherheit (Komponenten können gleichzeitig von verschiedenen Programmbereichen mehrfach ohne Konflikte ausgeführt werden)
- Striktes Error-Handling
- Hohe Portabilität, wenig Release-Anpassungen notwendig (wenig Abhängigkeiten)
- Interoperabilität mit anderen Computersprachen (C, Python etc.)

Die Hauptfunktionen der neuen Programmversion sind in Abbildung 2 dargestellt:

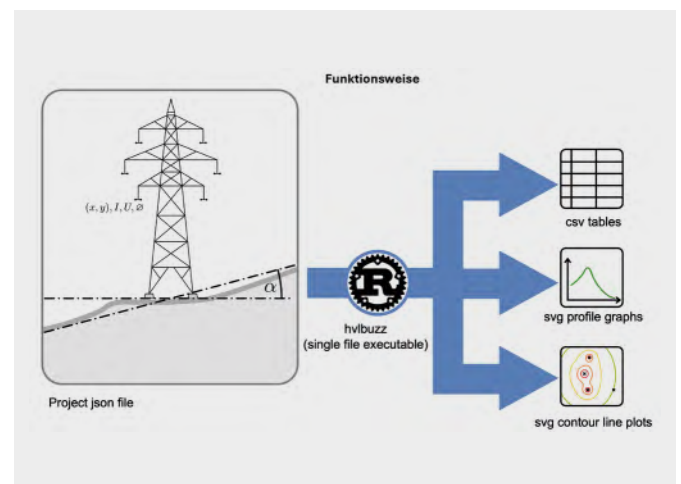


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Eingangsdaten und der Resultate von HVLBuzz 2

Die aus der Fachliteratur bekannten Koronaschallberechnungsmethoden wurden unverändert von der Vorversion HVLBuzz 1 für Wechselspannungs-, Gleichspannungs- und Hybridfreileitungen übernommen:

**AC:** EPRI, BPA, EDF, CIGRE, BPA MOD (Jahresbeurteilungspegel CH)

**DC:** EPRI, BPA, CRIEPI

Die grafische Benutzeroberfläche wurde erneuert. Folgende neue Funktionen wurden aus dem oben erwähnten FKH-Programm EBL übernommen:

- Projektorientiertes File-Management mit **automatischer Generierung der Resultate-Files**
- Grafische **Isolinien-Darstellungen** der Resultate für die Schallpegel und die elektrischen und magnetischen Felder (Abbildung 3)
- Direkte Berechnung von **Jahresbeurteilungspegel** für den Koronaschall unter Berücksichtigung der lokalen Niederschlagsstatistik (Verfahren steht beim BAFU in der Evaluierungsphase)

- Berücksichtigung der **Hangneigung** quer zur Leitungsachse (Beispiel in Abbildung 4)
- Berücksichtigung der **induzierten Erdseilströme** für das Magnetfeld
- Magnetfelder von **Kabelsystemen** (ein- oder zweiseitige Kabelschirmerdung)
- Gemeinschafts-Freileitungen mit **DC, 50 Hz, 16,7 Hz Bahnstrom** für E- und B-Felder

In Vorbereitung ist auch eine Python-**Schnittstelle** für die Integration von HVLBuzz 2 in Freileitungs-Planungssoftware (PLS-CADD etc.).

Die vektororientierten Grafiken ermöglichen eine Überlagerung mit Leitungsquerschnitts-Zeichnungen (Abbildung 3).

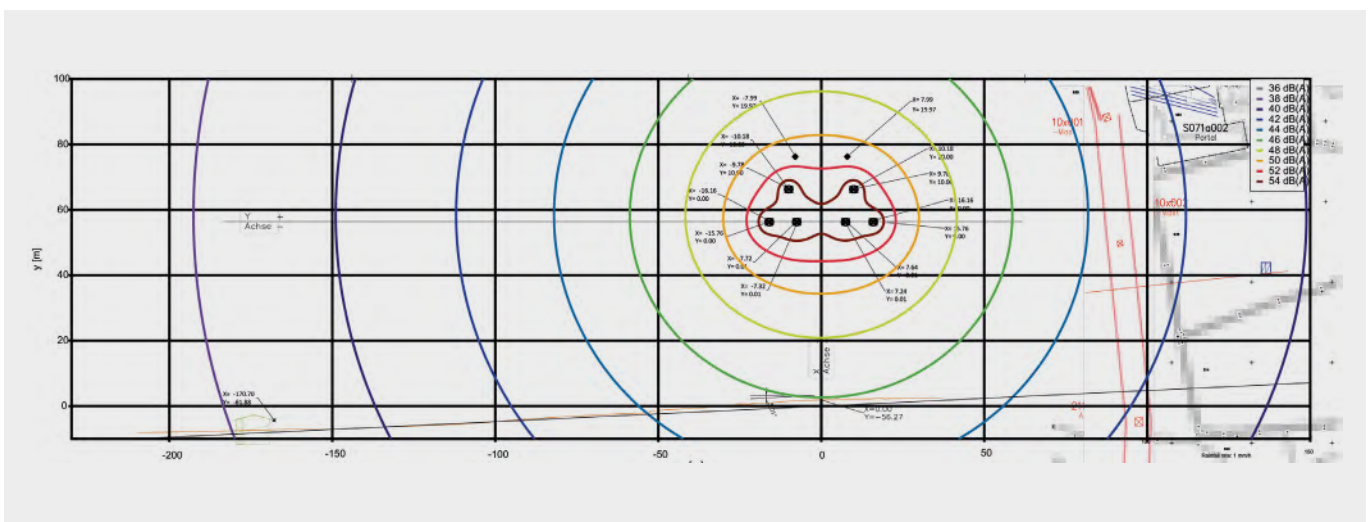


Abbildung 3: Beispiel einer Isolinien-Darstellung für eine berechnete Koronaschallpegelverteilung als Querschnittsbild

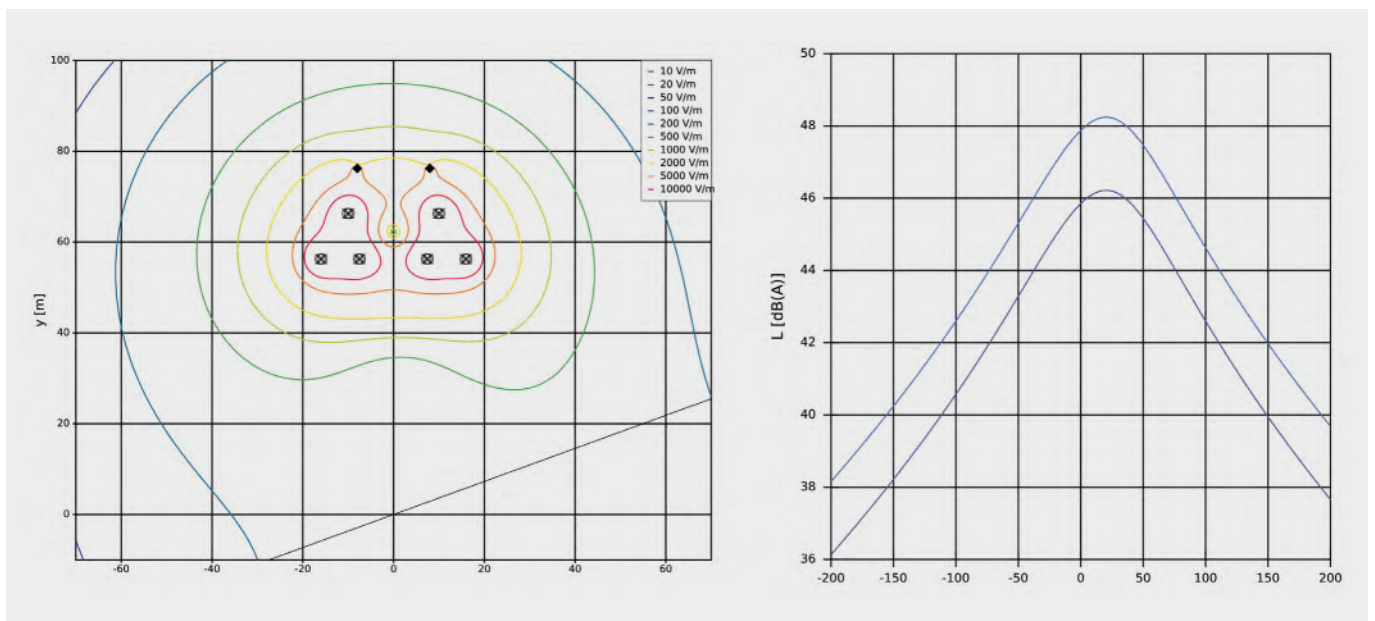


Abbildung 4: Beispiel mit Berechnungen an einer 400-kV-Freileitung mit Hangneigung quer zur Leitungsrichtung, links: elektrische Feldverteilung (Linien gleicher Feldstärke), rechts: Auswirkung der Hangneigung auf Schallpegelprofile nach zwei verschiedenen Berechnungsmethoden

FOLGENDE PERSONEN WAREN AN DER ENTWICKLUNG DER VERSION 2 VON HVLBUZZ BETEILIGT:

**Projektleitung FKH:**

**Henrik Menne, FKH**

**Gesamtentwicklung:**

**Gerhard Bräunlich, Scientific IT Services ETH**

**Entwicklung Python-Schnittstelle:** Joel Winiger, Physiker, temp. Mitarbeiter

**Fachliche Unterstützung:**

**Reinhold Bräunlich, FKH**



220-kV-Kabelprüfung im Unterwerk Fällanden

# FKH-Fachtagung 2025 – «Messtechnische Zustandsbeurteilung von Betriebsmitteln in Schaltanlagen und Kraftwerken»

Betriebsmittel in Schaltanlagen und Kraftwerken werden für einen Betrieb von 40 Jahren und mehr ausgelegt. Die Betriebsmittel werden im Werk einer Qualitätsprüfung unterzogen. Betriebsgefährdende Fehler können dabei übersehen werden. Sie können durch den Prozess der Installation oder durch den Betrieb aber auch erst vor Ort neu entstehen. Eine Vor-Ort-Abnahmeprüfung mit erhöhter Spannung in Kombination mit sensitiven Messmethoden wie z.B. der UHF-Teilentladungsmessung ist zentral, um diese Fehler vor der Inbetriebnahme zu finden. Die Messresultate dienen in Kombination mit ergänzenden Zustandskennwerten als Referenzpunkt am Lebensanfang, um eine allfällige spätere Veränderung im Betrieb festzustellen und zu quantifizieren. Wird ein Fehler messtechnisch nachgewiesen, werden ergänzende Messmittel zu dessen Charakterisierung und Lokalisierung verwendet und geeignete Massnahmen zur Fehlerbehebung vor Ort umgesetzt.

Bei Umbauvorhaben oder gegen Ende der Lebensdauer der Betriebsmittel stellt sich die Frage, ob das Betriebsmittel frei von fortgeschrittenen und möglicherweise betriebsgefährdenden Alterungserscheinungen ist. Materialfehler können

physikalische Alterungsprozesse auslösen und die natürliche Lebensdauer verkürzen. Verfrühte Alterung kann aber auch auftreten, wenn das Betriebsmittel höher belastet wird als ursprünglich vorgesehen, oder falls es ungenügend vor auftretenden Überspannungen im Netz geschützt ist. Alterungsvorgänge können mittels Überwachung oder erneuter Prüfung nachgewiesen werden.

Die Tagung stellte die Vor-Ort-Prüf- und -Messmethoden in den Vordergrund, mit welchen Fehler und Alterungsmechanismen nachgewiesen werden können. Die Referenten gingen auch auf praktische Herausforderungen in der Durchführung dieser Prüfungen ein. Es wurde aufgezeigt, welche Messresultate notwendig sind, um eine technisch fundierte Entscheidungsgrundlage für den Weiterbetrieb der Betriebsmittel, für Wartungsmassnahmen oder den Ersatz von Betriebsmitteln zu erlangen.

	Beitrag	Referent
08.30 – 09.00	<b>Willkommenskaffee</b>	
09.00 – 09.05	<b>Begrüssung</b>	Dr. Michael Walter, FKH
09.05 – 09.10	<b>Einführung in die Tagung</b>	Dr. Detlev Gross, PDIXC GmbH
09.10 – 09.35	<b>Physikalische und statistische Grundlagen von Teilentladungsmustern</b>	Dr. Detlev Gross, PDIXC GmbH
	<b>Zustandsbeurteilung von Transformatoren</b>	
09.40 – 10.05	<b>Analyse der AC-Transformatorzuverlässigkeit – Erkenntnisse der CIGRE WG A2.62</b>	Prof. Dr. Stefan Tenbohlen, Universität Stuttgart
10.10 – 10.35	<b>Praxis der Zustandsbewertung einer Transformatorenflotte</b>	Pascal Fehlmann, Swissgrid AG
	<b>Kaffeepause</b>	

11.10 – 11.35	<b>Die Ölanalyse als Wegweiser für die passende Instandhaltungsmethode am Transformator</b>	Roland Voramwald, Trafopower AG, und Paul Köstinger, Retranol GmbH
11.40 – 12.05	<b>Lokalisierung von Teilentladungen in ölgefüllten Transformatoren</b>	Dr. Detlev Gross, PDIXC GmbH
<b>Zustandsbeurteilung von Generatoren</b>		
12.10 – 12.45	<b>Zustandsbewertung und Instandhaltung von Hydrogeneratoren: Erfahrungswerte aus Sicht eines Betreibers</b>	Lars Nilsson, Thomas Holzer, BKW Energie AG
<b>Mittagessen</b>		
<b>Zustandsbeurteilung von Schaltanlagen</b>		
14.30 – 14.55	<b>Teilentladungsmonitoring – von der Datenerfassung zur Bewertung</b>	Markus Söller, Megger (Power Diagnostix Systems GmbH)
15.00 – 15.25	<b>Spektrum der Zustandsüberwachungsmöglichkeiten von GIS-Anlagen</b>	Robert Lüscher, GE Grid (Switzerland) GmbH
<b>Kaffeepause</b>		
16.00 – 16.25	<b>Methoden zur Überwachung der Gasqualität in Schaltanlagen mit umweltfreundlichen Isoliergasen</b>	Dr. Michael Walter, FKH
16.30 – 16.55	<b>Anwendungsmöglichkeiten von KI für Predictive Maintenance von Leistungsschaltern und ihre Grenzen</b>	Chi-Ching Hsu, ETH Zürich
ca. ab 17.10	<b>Apéro</b>	

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



# Zusammenarbeit mit Hochschulen / Nachwuchsförderung

## Betreute Praktikumsarbeiten

### Rona Dehari

IASTE-Praktikantin aus Nordmazedonien von der Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, Skopje Studiengang Power Engineering, Automation and Renewable Energy Sources

Inhalt des Praktikums siehe Beitrag «Untersuchungen zum Teilentladungsverhalten in umweltfreundlichen Isoliergasen»

Betreuer: Dr. Michael Walter, Glenn Behrmann, Dr. Stefan Neuhold



Abbildung 1: Rona Dehari montiert die D1.78-Prüfzelle zur Untersuchung des Teilentladungsverhaltens in alternativen Isoliergasen



Abbildung 2: Rona Dehari präpariert Fehlerstellen für den experimentellen Aufbau Partikel auf Isolator

### Peter Vrábel

IASTE-Praktikant aus der Slowakei von der Technischen Universität Wien, Studiengang Software Engineering

Inhalt des Praktikums siehe Beitrag «Wissen nutzbar machen – wie die FKH ihren Know-how-Pool öffnet»

Betreuer: Dr. Michael Walter, Dr. Reinhold Bräunlich



Abbildung 3: Peter Vrábel

# Teilnahme an Fachveranstaltungen, Referate, Publikationen

## Beiträge an Fachveranstaltungen

### Michael Walter

Vortrag «Anwendungsspektrum der Stossprüfungen bei der FKH»,  
Swiss T&D Days 2025, 3. und 4.11.2025, Aarau

---

### Michael Walter

Vortrag «Wissen nutzbar machen: wie die FKH mit KI ihren Know-how-Pool öffnet»,  
BSI-Customer-World-Tagung, 4. und 5.11.2025, Zürich

---

### Michael Walter

Vortrag «Methoden zur Überwachung der Gasqualität in Schaltanlagen mit umweltfreundlichen Isoliergasen», FKH-Fachtagung  
«Messtechnische Zustandsbeurteilung von Betriebsmitteln in Schaltanlagen und Kraftwerken», 26.11.2025, Campus Sursee

---

### Glenn Behrmann

Online-Vortrag (Webinar) «Synopsis of Changes Made to Edition 4 of IEC 60270 (Charge-Based Partial Discharge Measurements)»  
in Zusammenarbeit mit IEEE Dielectrics and Electrical Insulation Society und IEEE Young Professionals

---

## Teilnahme an Fachveranstaltungen

### Electrosuisse-Anlagetagung 2025, 18.9.2025, Aarau

Gunnar Andrae, Michael Walter

---

### Electrosuisse-Fachtagung Leitungsbau 2025, 12.11.2025, Aarau

Reinhold Bräunlich, Michael Walter

---

### FKH-Fachtagung «Messtechnische Zustandsbeurteilung von Betriebsmitteln in Schaltanlagen und Kraftwerken», 26.11.2025, Campus Sursee

Gunnar Andrae, Reinhold Bräunlich, Vahe Der Houhanessian, Philippe Alff, Henrik Menne, Stefan Neuhold, Christian Lawnik,  
Henning Janssen, Michael Walter, Peter Frey, Glenn Behrmann

---

# 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)

### **CIGRE**

Firmenmitgliedschaft

### **VDE**

Firmenmitgliedschaft

### **Forschungsstiftung Strom und Mobilkommunikation (FSM)**

Firmenmitgliedschaft

## Die FKH ist bei folgenden nationalen und internationalen Fachgremien vertreten

### **Nationalkomitees:**

#### **CES electrosuisse TK 10: «Flüssigkeiten für elektrische Anwendungen»**

Mitglied: Peter Frey

#### **CES electrosuisse TK 14: «Transformatoren»**

Mitglied: Martina Müller

#### **CES electrosuisse TK 17AC: «Hochspannungs-Schaltgeräte und -Schaltanlagen»**

Mitglieder: Martina Müller, Gunnar Andrae

#### **CES electrosuisse TK 20: «Elektrische Kabel»**

Mitglied: Dominic Kleger

#### **CES electrosuisse TK 38: «Messwandler»**

Mitglied: Martina Müller

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

Mitglieder: Michael Walter, Glenn Behrmann

#### **CES electrosuisse TK 99: «Isolationskoordination»**

Mitglied: Michael Walter

#### **CES electrosuisse TK Erdungen**

Mitglied: Diego Friedli

**Internationale IEC-Arbeitsgruppen:****IEC 62271-100 TC 17 / SC 17A / MT 36: «High-voltage switchgear and controlgear – Alternating-current circuit-breaker»**

Mitglied: Gunnar Andrae

**IEC 62271-101 TC 17 / SC 17A / MT 28: «High-voltage switchgear and controlgear – Synthetic testing»**

Mitglied: Gunnar Andrae

**IEC 62271-203 TC 17 / SC 17C / MT 16: «High-voltage switchgear and controlgear – Gas-insulated switchgear»**

Mitglied: Gunnar Andrae

**IEC 62271-2 TC 99 / MT 9: «Insulation co-ordination – Part 2: Application guidelines»**

Mitglied: Gunnar Andrae

**IEC 62478 MT 14: «High voltage test techniques – Measurement of partial discharges by electromagnetic and acoustic methods»**

Mitglied: Glenn Behrmann (Sekretär, Schweizer Referent)

**IEC 60270 MT 23: «High-voltage test techniques – Partial discharge measurements»**

Mitglied: Glenn Behrmann (Sekretär, Schweizer Referent)

**DKE/AK 124.0.5: «Teilentladungsmesstechnik – Revision IEC 60270»**

Mitglied: Glenn Behrmann (CH-Vertreter)

**DKE/AK 124.0.7: «Teilentladungsmesstechnik (nicht konventionell) – IEC 62478»**

Mitglied: Glenn Behrmann (CH-Vertreter)

**Internationale CIGRE-Arbeitsgruppen:****CIGRE D1: «Materials and emerging test techniques»**

Nationalvertreter Schweiz: Michael Walter

**CIGRE WG B1.68: «Condition evaluation and lifetime strategy of HV cable systems»**

Mitglied: Diego Friedli

**CIGRE AG D1.04: «Advisory group insulating gases»**

Mitglieder: Stefan Neuhold, Michael Walter

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

Mitglieder: Stefan Neuhold, Glenn Behrmann

**CIGRE WG D1.66: «Requirements of partial discharge monitoring systems for gas-insulated systems» (completed)**

Mitglieder: Stefan Neuhold, Glenn Behrmann (Sekretär)

**CIGRE WG D1.78: «Partial discharge properties of non-SF<sub>6</sub> insulating gases and gas mixtures»**

Convenor: Michael Walter

Sekretär: Glenn Behrmann

Mitglied: Stefan Neuhold

**IEEE SA PE / PSIM (Standards Association Power System Instrumentation and Measurements) P454: «Guide for the Detection, Measurement and Interpretation of Partial Discharges»**

Mitglied: Glenn Behrmann

# FKH-Mitglieder

## Verbände

### Electrosuisse

8320 Fehraltorf

### Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE)

5001 Aarau

## Werksmitglieder

### AEW Energie AG

5001 Aarau

### Industrielle Werke Basel

4053 Basel

### AG Kraftwerk Wägital

8854 Siebnen

### Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG

4658 Däniken

### Axpo Grid AG

5401 Baden

### Kraftwerke Oberhasli AG

3862 Innertkirchen

### Axpo Power AG

5401 Baden

### Primeo Netz AG

4142 Münchenstein

### Azienda Elettrica Ticinese

6501 Bellinzona

### Repower AG

7742 Poschiavo

### Aziende Industriali della città di Lugano SA

6901 Lugano

### Sankt Galler Stadtwerke

9001 St. Gallen

### BKW Energie AG

3013 Bern

### SBB Energie

3052 Zollikofen

### CKW AG

6002 Luzern

### Service Industriels Lausanne (SIL)

1000 Lausanne 9

### EKT AG

9320 Arbon

### Services Industriels de Genève (SIG)

1211 Genève 2

### Elektrizitätswerk der Stadt Zürich

8050 Zürich

### St. Gallisch-Appenzellische Kraftwerke AG

9001 St. Gallen

### Elektrizitätswerke des Kantons Zürich

8022 Zürich

### Swissgrid AG

5001 Aarau

### Energie-Service Biel/Bienne

2504 Biel

### Stadtwerk Winterthur

8402 Winterthur

### Energie Wasser Bern

3001 Bern

### Verzasca SA

6901 Lugano

### ewl energie wasser luzern

6002 Luzern

### Werke am Zürichsee AG

8700 Küsnacht

### GRUPE E SA

1701 Fribourg

## Industriemitglieder, Ingenieurbüros und weitere Mitglieder

**AFRY Schweiz AG**  
8048 Zürich

**Nexans Suisse SA**  
2016 Cortaillod

**Agea-Kull AG**  
4552 Derendingen

**OMICRON electronics GmbH**  
A-6833 Klaus

**Arnold AG, Hochspannungsleitungen**  
3072 Ostermündigen

**Pfiffner Messwandler AG**  
5042 Hirschthal

**Brugg Kabel AG**  
5200 Brugg

**Pfisterer Switzerland AG**  
6460 Altdorf

**Condis SA**  
1728 Rossens

**Rauscher & Stöcklin**  
4450 Sissach

**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 Energy AG**  
8047 Zürich

**Hitachi Energy Switzerland AG**  
8050 Zürich

**Siemens Schweiz AG**  
8047 Zürich

**Hivoduct AG**  
8310 Kempthal

**Studer Cables AG**  
4658 Däniken

**Megger Schweiz AG**  
5107 Schinznach Dorf

**Trafopower AG**  
5012 Schönenwerd

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

**VAPEC AG**  
8304 Wallisellen

## Korrespondierende Mitglieder

**ABB Technikerschule Baden Elektrotechnik**  
5400 Baden

**Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH)  
FG Hochspannungstechnologie**  
8092 Zürich

**Berner Fachhochschule**  
3400 Burgdorf

**Forschungsgemeinschaft für elektrische Anlagen und  
Stromwirtschaft e.V. (FGH)**  
D-68199 Mannheim

**Haute École d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud**  
1400 Yverdon-les-Bains

**HES-SO Valais/Wallis**  
1950 Sion

**École d'Ingénieurs et d'Architectes de Fribourg**  
1705 Fribourg

**FH Graubünden**  
7004 Chur

**Swiss Federal Institute of Technology Power  
Electronics Laboratory (EPFL)**  
1015 Lausanne

**Zürcher Hochschule für Angewandte  
Wissenschaften (ZHAW)**  
8401 Winterthur

## Mitgliederbestand per 31. Dezember 2025

<b>Verbände</b>	2	(2)
<b>Werkmitglieder</b>	29	(29)
<b>Industriemitglieder, Ingenieurbüros und weitere Mitglieder</b>	24	(23)
<b>Korrespondierende Mitglieder</b>	10	(10)
<b>Total Mitglieder per 31. Dezember 2025</b> (Stand per 31. Dezember 2024 in Klammern)	<b>66</b>	<b>(65)</b>

## Neues Mitglied

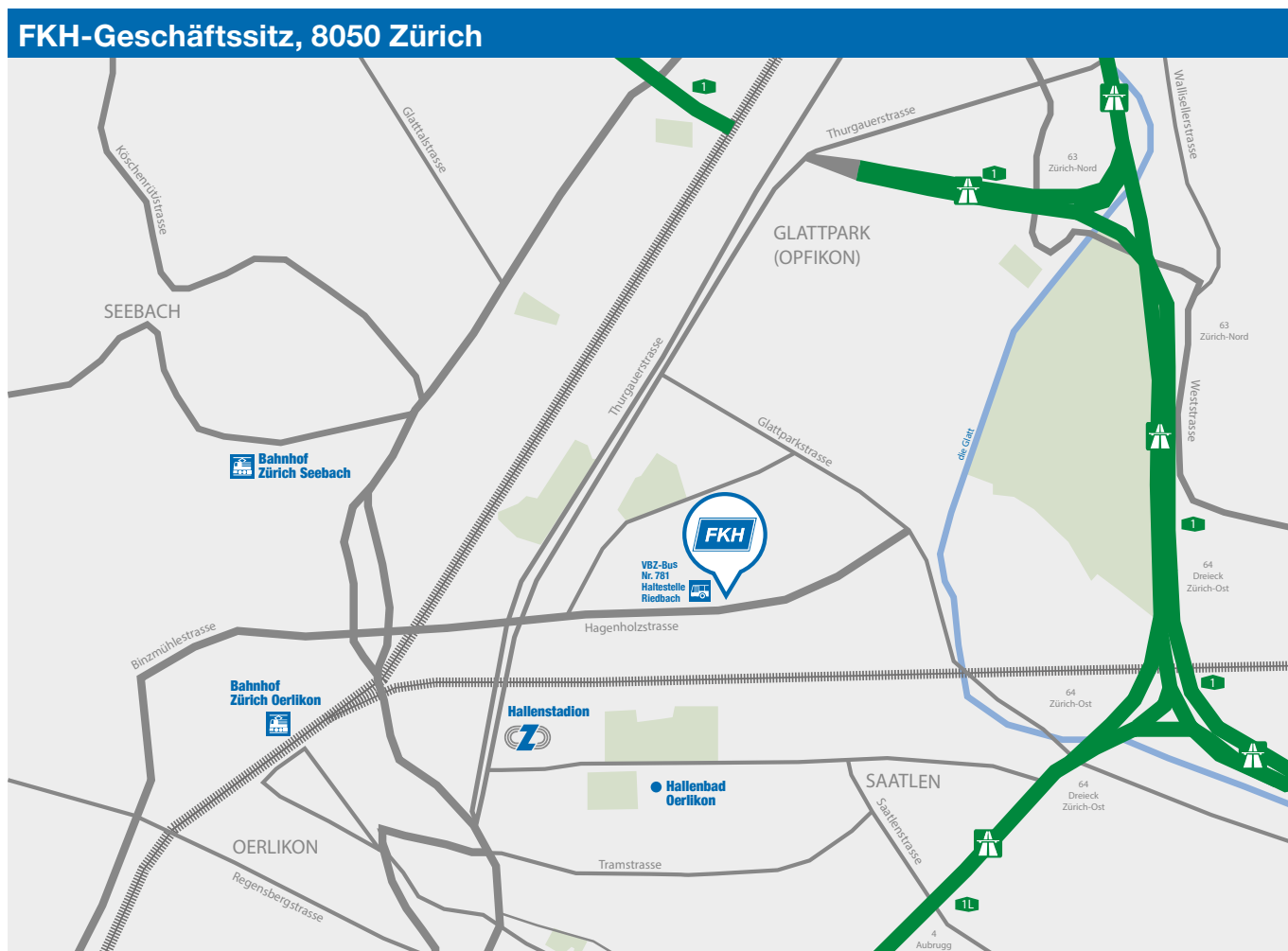
An der Mitgliederversammlung vom 22. Mai 2025 wurde dem Mitgliedschaftsantrag von folgendem Unternehmen zugestimmt:



**Hivoduct AG**  
**Pfäffikerstrasse 28**  
**8310 Kempthal**

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

# Zufahrtspläne für die FKH-Standorte



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

**FKH-Geschäftssitz** Tel. +41 44 253 62 62  
Hagenholzstrasse 81 · CH-8050 Zürich

## FKH-Isolieröllabor und -Versuchsstation, 5013 Niedergösgen



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

**FKH-Isolieröllabor** Tel. +41 62 288 77 99

**FKH-Versuchsstation** Tel. +41 62 288 77 95

Andresenschachen 10 • CH-5013 Niedergösgen



**FKH-Geschäftssitz**

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

[info@fkh.ch](mailto:info@fkh.ch)  
[www.fkh.ch](http://www.fkh.ch)

**FKH-Isolieröllabor**

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

**FKH-Versuchsstation**

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