

**FKH- / VSE-Fachtagung  
05. November 2010  
ETH Zürich**

# **Gekapselte gasisolierte Schaltanlagen (GIS)**

**Veranstalter:**

*Fachkommission für Hochspannungsfragen, FKH  
Voltastrasse 9  
8044 Zürich*



*Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen, VSE  
Hintere Bahnhofstrasse 10  
5001 Aarau*



**VSE-Druckschrift**



**FKH- / VSE-Fachtagung  
05. November 2010  
ETH Zürich**

**Vorwort zur Tagung**

Gasisolierte Schaltanlagen (GIS) haben sich in den letzten 4 Jahrzehnten vor allem in dicht besiedelten Gebieten gegenüber herkömmlichen luftisolierten Hochspannungsschaltanlagen sukzessive durchgesetzt. Ausschlaggebend dafür waren in erster Linie die kompakte Bauweise, welche eine einfache Integration ganzer Unterwerke in Gebäuden ermöglicht sowie die geringeren Umwelteinflüsse auf diesen Schaltanlagentyp, wodurch die Wartung und Instandhaltung erheblich erleichtert wird.

Im Rahmen der angekündigten Tagung werden vornehmlich Themen der Auslegung, der Qualitätssicherung, des Betriebs und der Instandhaltung von GIS behandelt. Die Beiträge werden in einem Einführungsreferat des Tagungsleiters vorgestellt.

Besonders hervorgehoben werden die aktuellen Entwicklungen im Design der gekapselten Schaltanlagen, welche durch neue Anforderungen der Netze, durch Betriebserfahrungen und schliesslich auch durch Wirtschaftlichkeitsüberlegungen angestossen wurden.

Die Tagung schliesst mit einer Diskussionsrunde ab, in welcher auf Fragen zu den behandelten aber auch zu weitergehenden Aspekten gasisolierter Hochspannungsschaltanlagen eingegangen wird.

**Prof. Dr. Claus Neumann**  
Tagungsleiter

**Dr. Reinhold Bräunlich**  
Geschäftsleiter der FKH



## Tagungsprogramm

Datum: Freitag, 5. November 2010, Beginn 09<sup>15</sup>  
 Ort: ETH-Zürich, Raum HG F 7, Rämistrasse 101, 8092 Zürich  
 Titel: **Gekapselte gasisolierte Schaltanlagen (GIS)**  
 Tagungsleitung: Prof. Dr. Claus Neumann, Amprion GmbH, Dortmund

	<b>Titel / Inhalt</b>	<b>Referent</b>
09 <sup>15</sup> -09 <sup>25</sup>	Begrüssung durch den Präsidenten der FKH	Dr. Thomas Aschwanden, KWO Innertkirchen
09 <sup>25</sup> -09 <sup>55</sup>	Gasisolierte metallgekapselte Schaltanlagen – Einführung und Überblick	Prof. Dr. Claus Neumann Amprion GmbH, Dortmund
09 <sup>55</sup> -10 <sup>25</sup>	30 Jahre Betriebserfahrung mit der 220-kV-GIS im Pumpspeicherkraftwerk Grimsel 2	Dr. Thomas Aschwanden, KWO Innertkirchen
10 <sup>25</sup> -10 <sup>55</sup>	<b>Kaffeepause</b>	
10 <sup>55</sup> -11 <sup>05</sup>	Grussworte des VSE	Josef A. Dürr, Direktor VSE, Aarau
11 <sup>05</sup> -11 <sup>35</sup>	Dielektrische Koordination in gasisolierten Hochspannungsschaltern	Philipp Simka, ETH Zürich Fachgruppe Hochspannungstechnologie
11 <sup>35</sup> -12 <sup>05</sup>	Einfluss der Bauformen und Aufbauten von gekapselten gasisolierten Hochspannungsschaltanlagen auf Betrieb, Service und Wartung	Dr. Jörg Bausch, Siemens AG Erlangen
12 <sup>05</sup> -12 <sup>35</sup>	Mixed Technology Switchgear: Technologie; Anwendung und Trends	Dr. Walter Holaus, Dieter Fuchsle ABB Schweiz AG, Zürich
12 <sup>35</sup> -14 <sup>00</sup>	<b>Mittagessen</b>	
14 <sup>00</sup> -14 <sup>30</sup>	Berücksichtigung von Havariekonzepten bei der Definition von Anlagenlayout und Ersatzteilhaltung	Sascha Wyss, Alpiq Netz AG Niedergösgen
14 <sup>30</sup> -15 <sup>00</sup>	Qualitätssicherung während der Designphase und Produktion von GIS-Anlagen	David Gautschi, AREVA T&D AG Oberentfelden
15 <sup>00</sup> -15 <sup>30</sup>	Hochspannungsabnahmeprüfungen an GIS vor Ort	Dr. Stefan Neuhold, FKH, Zürich
15 <sup>30</sup> -15 <sup>50</sup>	Diskussion	Prof. Dr. Claus Neumann
15 <sup>50</sup>	Apéro	

Ende der Veranstaltung ca. 16<sup>30</sup>



## Zusammenfassung der Referate

### Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Gasisolierte metallgekapselte Schaltanlagen – Einführung und Überblick</b>	1
Prof. Dr. Claus Neumann, Amprion GmbH, Dortmund	
<b>30 Jahre Betriebserfahrung mit der 220-kV-GIS im Pumpspeicher kraftwerk Grimsele 2</b>	23
Dr. Thomas Aschwanden, KWO, Innertkirchen	
<b>Dielektrische Koordination in gasisolierten Hochspannungsschaltern</b>	35
Philipp Simka, ETH Zürich, Fachgruppe Hochspannungstechnologie	
<b>Einfluss der Bauformen und Aufbauten von gekapselten gasisolierten Hochspannungsschaltanlagen auf Betrieb, Service und Wartung</b>	41
Dr. Jörg Bausch, Siemens AG, Erlangen	
<b>Mixed Technology Switchgear: Technologie, Anwendung und Trends</b>	47
Dr. Walter Holaus, Dieter Fuchsle, ABB Schweiz AG, Zürich	
<b>Berücksichtigung von Havariekonzepten bei der Definition von Anlagenlayout und Ersatzteilhaltung</b>	51
Sascha Wyss, Alpiq Netz AG, Niedergösgen	
<b>Qualitätssicherung während der Designphase und Produktion von GIS-Anlagen</b>	65
David Gautschi, AREVA T&D AG, Oberentfelden	
<b>Hochspannungsabnahmeprüfungen an GIS vor Ort</b>	83
Dr. Stefan Neuhold, FKH, Zürich	
<b>Teilnehmerverzeichnis sortiert nach Namen</b>	97
<b>Teilnehmerverzeichnis sortiert nach Firmen</b>	101
<b>Referentenadressen</b>	105
<b>Internetseite zur Fachtagung</b>	107
<b>Notizen</b>	109



## *FKH- / VSE-Fachtagung*

*5. November 2010*

### *Gekapselte gasisolierte Schaltanlagen*

## **Gasisolierte metallgekapselte Schaltanlagen (GIS) Einführung und Überblick**

**Prof. Dr.-Ing. Claus Neumann**  
Amprion GmbH, Dortmund

- Studium der Elektrotechnik an der TH Aachen, Fachrichtung Energietechnik, Schwerpunkt Hochspannungstechnik
- Externe Promotion an der TH Darmstadt (1992)
- 1972 Versuchsingenieur im Hochspannungs- und Isolierstofflabor eines Schaltgeräte- und Anlagenherstellers
- 1979 Eintritt bei RWE, Energieübertragung und -verteilung, Abteilung Hochspannungsgeräte. Bis 2005 in verschiedenen Positionen im Bereich Hochspannungs-Betriebsmitteln tätig
- Ab 2005 Leiter des Operativen Assetmanagement bei RWE Transportnetz Strom, ab Sept. 2009 Amprion
- Seit 01.04.2010 als Senior Consultant tätig
- Seit 1994 Lehrauftrag an der TU Darmstadt; 2001 Honorarprofessor
- Mitglied bei VDE und CIGRE, Mitarbeit in verschiedenen Gremien bei DKE, FFN und CIGRE



# **Gasisolierte metallgekapselte Schaltanlagen (GIS) - Einführung und Überblick -**

Claus Neumann  
Amprion GmbH, Dortmund

## **Kurzfassung**

Gasisolierte metallgekapselte Schaltanlagen (GIS) wurden Ende der 60er Jahre erstmals als neue Betriebsmittel im Hochspannungsnetz eingesetzt. Inzwischen kommt diese Anlagentechnik in allen Spannungsebenen zur Anwendung. Sie zeichnet sich aus durch hohe Betriebssicherheit, geringen Wartungsaufwand und lange Lebensdauer. Allerdings liegen die Investitionskosten verglichen mit denen für die konventionelle luftisolierte Anlagentechnik je nach Spannungsebene um den Faktor 1,2...2 höher. Dennoch ist die GIS-Technik insbesondere in den Ballungsgebieten, aber auch bei geringem Flächenangebot oftmals die einzige Lösung, um eine insgesamt wirtschaftliche Energieversorgung zu ermöglichen.

Während der vier Jahrzehnte hat die GIS-Anlagentechnik eine stetige Weiterentwicklung erfahren. Die heute auf dem Markt befindlichen Anlagen können mehrheitlich der 4. Entwicklungsstufe zugeordnet werden. Die Weiterentwicklung hatte zum Ziel, die Zuverlässigkeit der Anlagen weiter zu steigern, den Instandhaltungsaufwand zu verringern, die Anlagenabmessungen zu verkleinern und die Wirtschaftlichkeit der GIS-Anlagentechnik insgesamt zu verbessern.

Für die Auslegung von SF<sub>6</sub>-gasisolierten Systemen ist die dielektrische Festigkeit bei schnellen und sehr schnellen Überspannungen von besonderer Bedeutung. Unter ungestörten Verhältnissen wird die Beanspruchung bei sehr schnellen Überspannungen, wie sie beim Schalten von Trennschaltern auftreten, durch die Stehspannungsfestigkeit bei Bemessungsblitzstoßspannung abgedeckt. Es ist aber zu berücksichtigen, dass bei Auswahl von niedrigen Bemessungsblitzstoßspannungen der Abstand zwischen der Stehspannung bei Blitzüberspannung und der bei schnell ansteigenden Überspannungen (VFTO) geringer wird.

Besonders zu beachten sind jedoch Defekte im Isoliersystem. Die Feldstärkeerhöhung auf Grund von Defekten führt zu einer deutlichen Verringerung der Durchschlagsspannung.

Diese Erkenntnisse sind auch bei der Wahl der Prüfspannung für die Vorortprüfung zu berücksichtigen. Die optimale Lösung ist eine Wechsellspannungsprüfung mit begleitender TE-Messung, sofern sich eine ausreichende TE-Messempfindlichkeit erreichen lässt, z. B. durch eine UHF-TE-Messung.

Die Betriebserfahrungen zeigen, dass neue Anlagengenerationen wesentlich zuverlässiger sind als Anlagen der 1. und 2. Generation. Die wesentlichen Fehler wurden verursacht durch Spitzen und feststehende Partikel auf dem Hochspannungsleiter oder durch bewegliche Partikel auf der Gehäuseseite bzw. auf der Oberfläche von Stützisolatoren. Mangelnde Isolationskoordination von Trenn- und Erdungsschaltern sowie unzureichende Langzeitfestigkeit der Feststoffisolierung bildeten weitere Fehlerschwerpunkte. Als Fehlerursprung sind zu nennen: Designfehler, Fehler während der Herstellung sowie Vorort-Fehler. Die meisten dieser Fehlerursachen konnten durch zusätzliche Typprüfungen, verbesserte Qualitätskontrolle und eine empfindliche Hochspannungsprüfung vor Ort überwunden werden.

GIS-Anlagen gelten im Allgemeinen als wartungsarm. Neben der Funktionstüchtigkeit der Schaltgeräte soll insbesondere das einwandfreie Isolationsverhalten durch entsprechende Instandhaltungsmaßnahmen sichergestellt werden. Die Instandhaltungsmaßnahmen an den Schaltgeräten unterscheiden sich nur wenig von Freiluft-Schaltgeräten. Hinsichtlich des Isolationsverhaltens sind insbesondere eine Isolationsüberwachung und eine Überwachung der Gasdichte und des Gaszustandes von Interesse.

Das Ziel der Isolationsüberwachung ist eine Fehlerfrüherkennung und bei Anlagen der ersten Generation eine möglichst weitgehende Ausschöpfung der Nutzungsdauer. Zur Isolationsüberwachung kommen UHF-TE-Messungen in Frage, die als periodische Messungen durchgeführt werden. Nur in strategisch besonders wichtigen Anlagen kann der Einsatz eines Monitoringsystems sinnvoll sein.

Durch die Überwachung des Gaszustandes sollen Änderungen der physikalischen und chemischen Eigenschaften des SF<sub>6</sub>-Gases rechtzeitig erkannt werden. Eine Gasanalyse kann Hinweise auf Unregelmäßigkeiten im Inneren der Gasräume liefern.

Ein Öffnen der Gasräume nur zu Inspektionszwecken ist nicht sinnvoll, da diese Maßnahme in jedem Fall mit aufwendigen Gasarbeiten verbunden ist und wesentliche Erkenntnisse auch durch Diagnose-Messungen gewonnen werden können. Müssen Gasräume geöffnet werden, sollte ein Gaswartungsgerät zum Absaugen, Speichern und Verflüssigen von SF<sub>6</sub> sowie zum Evakuieren und Wiederbefüllen eingesetzt werden.

# Gasisolierte metallgekapselte Schaltanlagen (GIS) - Einführung und Überblick -

Prof. Dr.-Ing. C. Neumann

## Gasisolierte metallgekapselte Schaltanlagen (GIS) - Einführung und Überblick -

1. Einleitung
2. Grundsätzliches Design und Entwicklung über vier Jahrzehnte
3. Dielektrische Gesichtspunkte für Auslegung und Prüfung
4. Betriebserfahrungen
5. Zustandsüberwachung und Instandhaltung
6. Zusammenfassung

## Einleitung

- Gasisolierte, metallgekapselte Schaltanlagen (GIS) seit 1968
  - Inzwischen Anwendungen in allen Spannungsebenen
  - Hohe Betriebssicherheit, geringer Wartungsaufwand, lange Lebensdauer
  - Höhere Investitionskosten, bei geringem Flächenangebot, oft einzige Lösung
  - Stetige Weiterentwicklung während 3 bzw. 4 Jahrzehnten
  - Steigerung der Zuverlässigkeit, Verringerung des Instandhaltungsaufwandes, Verkleinern der Anlagenabmessungen, Verbessern der Wirtschaftlichkeit
- Einführung und Überblick

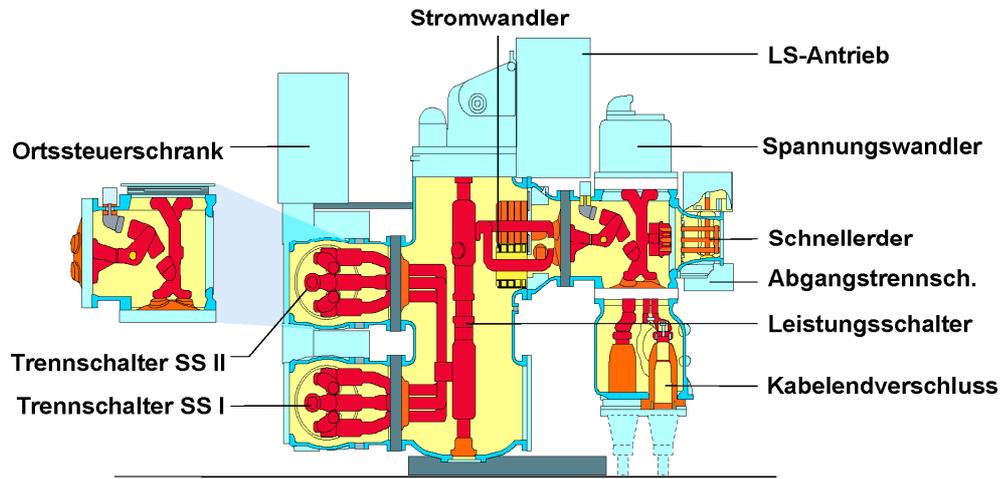
3 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

## Grundsätzlicher Aufbau

- GIS → Module, alle Strom- und Spannung führenden Teile in Kapselung ⇒ nicht zugänglich, von äußerer Atmosphäre nicht unmittelbar beeinflusst
- Modulbauweise → alle bekannten Schaltungsvarianten, Anpassung an räumliche Verhältnisse
- Einphasig- oder dreiphasig gekapselt, Kapselungsmaterial: Stahl oder Alu- bzw. Aluguss

4 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

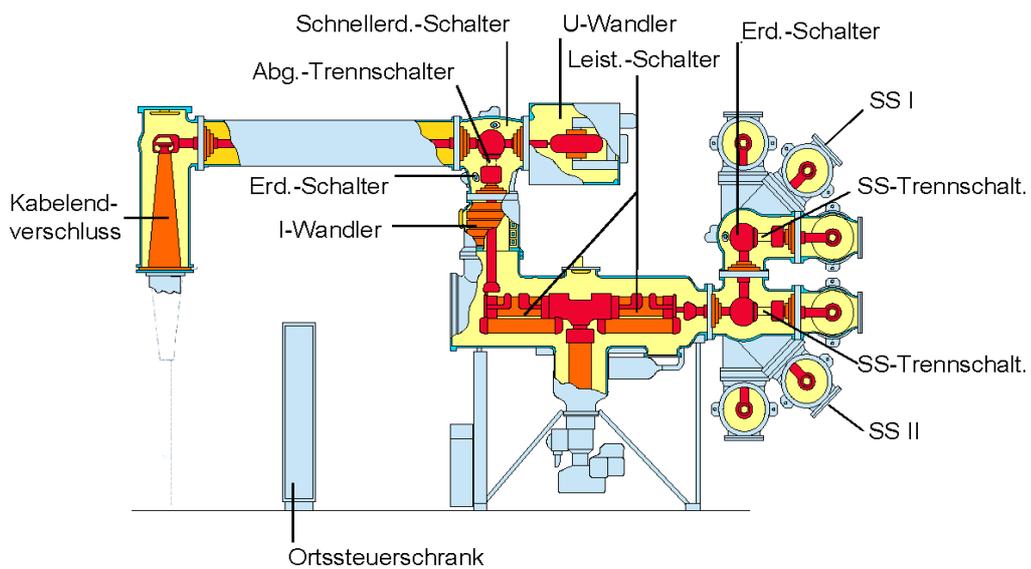
## 123-kV-GIS-Schaltfeld, dreiphasig gekapselt



Werkbild: ABB

5 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

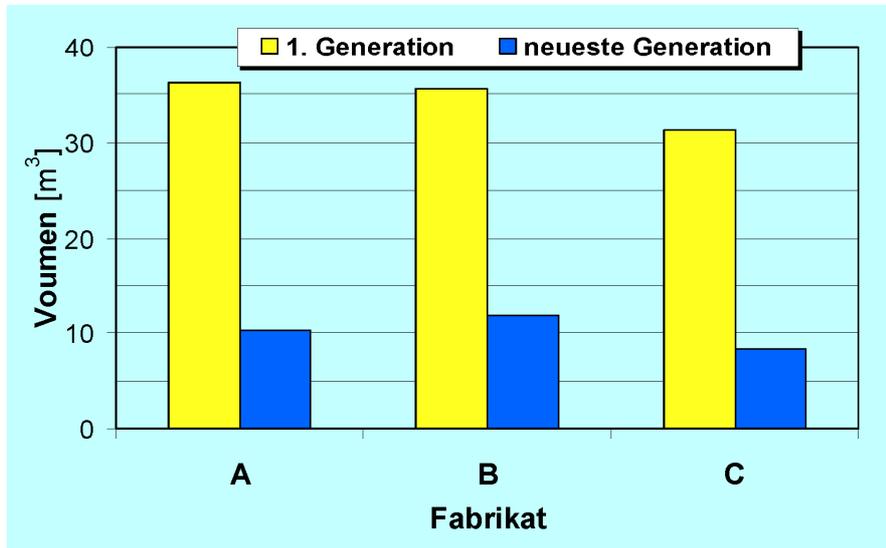
## 420-kV-GIS-Schaltfeld, einphasig gekapselt



Werkbild: Siemens

6 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

## Raumbedarf von 110-kV-GIS-Anlagen



7 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

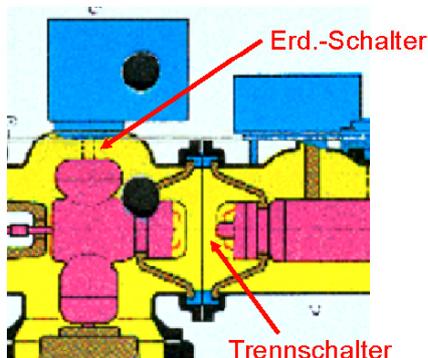
## Höherer Integrationsgrad

Einsatz von Kombinationsbausteinen

- Beispiel: Trennschalter - Erdungsschalter

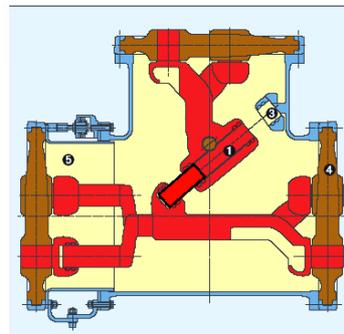
### 1. Generation

Trenn- & Erd.-Schalter 2 Module



### neueste Generation

Dreistellungsgerät



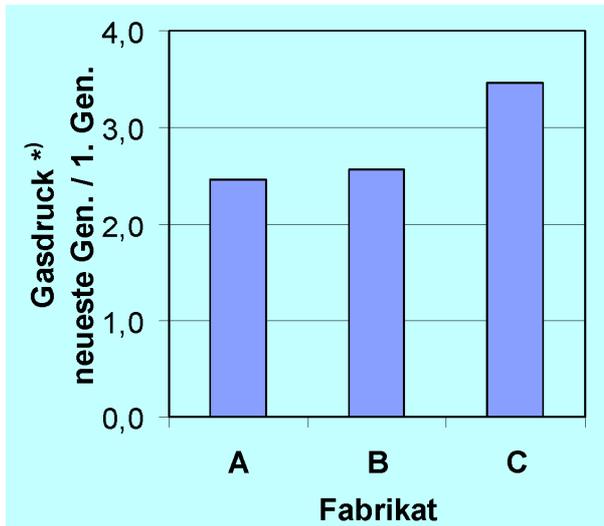
Werkbild: ABB

Trennschalter  
 eingeschaltet

9 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

## Gasdichte

Neben höherem Integrationsgrad auch höherer Gasdichte



Gasdruck 1. Generation:

1,3 ... 1,7 bar<sub>ü</sub> \*)

Gasdruck neueste Generation:

4,2 ... 4,7 bar<sub>ü</sub> \*)

- ⇒ Höhere Dichtigkeit der Gehäuse (Aluguss)
- ⇒ Bessere Dichtungstechnik
- ⇒ Empfindlichere Lecksuche

\*) bezogen auf 20°C

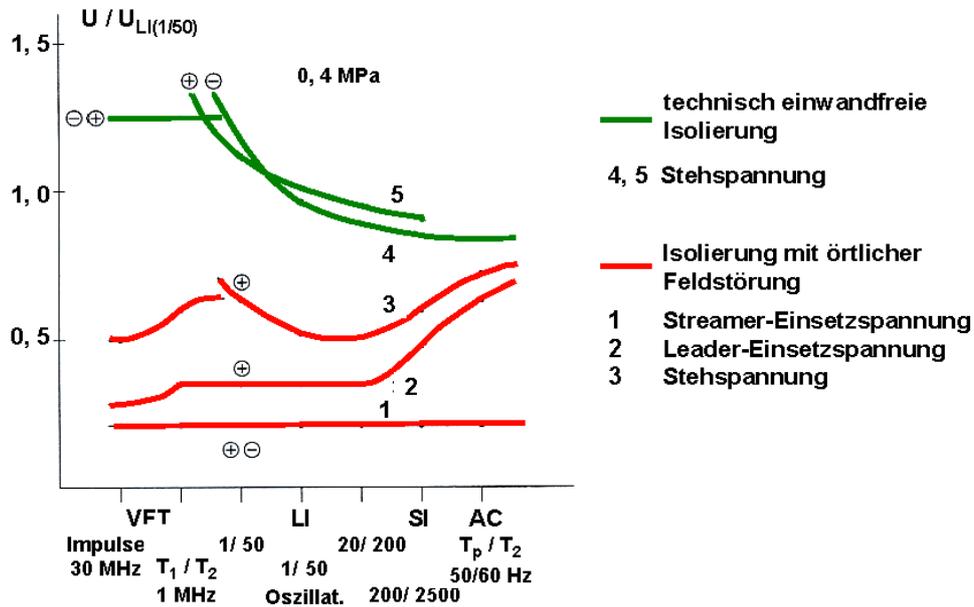
10 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

## Gasisolierte metallgekapselte Schaltanlagen (GIS) - Einführung und Überblick -

1. Einleitung
2. Grundsätzliches Design und Entwicklung über vier Jahrzehnte
3. Dielektrische Gesichtspunkte für Auslegung und Prüfung
  - Typische Spannungsbeanspruchungen & Auswirkung auf GIS-Isolierung
4. Betriebserfahrungen
5. Zustandsüberwachung und Instandhaltung
6. Zusammenfassung

11 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

## Isolationsverhalten von SF<sub>6</sub>-isolierten Systemen



12 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

## Einfluss von Störstellen auf das Isolationsverhalten von SF<sub>6</sub>-isolierten Systemen

Störstellen	Blitzstoß	Schaltstoß	WS	TE
<u>Gasisolierung</u>				
Freibeweglicher Partikel	O	O	++	++
Spitzen auf HS-Potential				
scharf	++	+	+ / O	+
rund	++	+	+	+ / O
<u>Isolatoroberfläche</u>				
Haftende Partikel	++	+	+ / O	+
Leitende Spuren	++	++	++	+
Verschmutzung durch Gasunreinheiten	+	+	++	+ / O
<u>Isolierstoff</u>				
Defekte, Lunker, etc.	O	O	+ / O	++

Verringerung der Durchschlagsspannung bzw. TE-Einsatzspannung

++ sehr deutlich

+ deutlich

O weniger

13 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

## Auswirkungen auf GIS Isolation (1)

- **Dauernde betriebsfrequente Wechselfspannung:**  
Entsprechend der höchsten dauernd zulässigen Betriebsspannung;  
Verschmutzung und Alterung vernachlässigbar
- **Zeitweilige Überspannungen:**  
Abgedeckt durch Kurzzeit-Prüfwechselfspannung
- **Langsam ansteigende Überspannung:**  
Unkritisch für GIS und unbedeutend für grundsätzliche dielektrische Auslegung
- **Schnell ansteigende Überspannung:**  
Insbesondere Blitzüberspannung von größerer Bedeutung für grundsätzliche Auslegung  
  
Koordinations-Stehspannung  $\Rightarrow$  deterministischer Methode (basierend auf Betriebserfahrungen) oder statistischer Methode

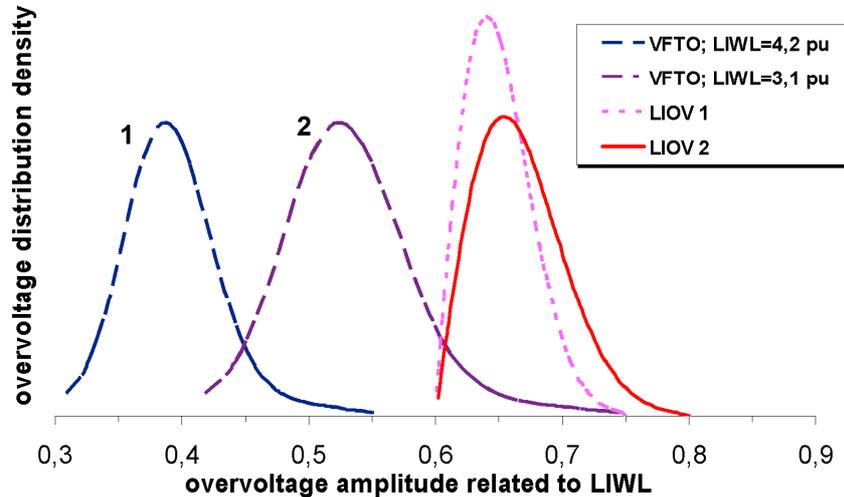
14 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

## Auswirkungen auf GIS Isolation (2)

- **Sehr schnell ansteigende Überspannung**  
Auf tretende Überspannungen < schnell ansteigende Überspannungen (Blitzüberspannungen), nicht kritisch für gesunde GIS-Isolation  
  
Aber: Bei niedriger Bemessungsblitzstoßspannung Abstand zwischen schnell & sehr schnell ansteigenden Überspannungen gering
- **Gleichspannung:**  
Restspannung nach Schalten von Trenn- und Leistungsschaltern

15 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

## Dielektrische Festigkeit in SF6 gasisolierten Systemen bei VFTO-Beanspruchungen



Typische Überspannungsverteilung bei VFTO und LIO in einer GIS-Anlage

- 1 VFTO-Verteilung bezogen auf LIWL von 4.2 pu (1425kV → 420kV)
- 2 VFTO-Verteilung bezogen auf LIWL von 3.1 pu (2550kV → 1000kV)

16 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

## Wirksamkeit von verschiedenen Vorort-Prüfungen auf Störstellen in GIS

● wirksam    Δ weniger wirksam

Störstelle	Hohe WS	Niedrige WS mit TE	Hohe WS mit TE	Blitzstoß	Schaltstoß
Scharfe Spitzen auf HS-Leiter			Δ	●	
Runde Spitzen auf HS-Leiter	Δ		●	●	●
Partikel auf Isolatoroberfläche			Δ	●	Δ
Risse in Isolatoren	Δ	Δ	●	Δ	Δ
Frei bewegliche Partikel	●	●	●		Δ
Potentialfreie Teile	Δ	●	●		
Werkzeuge, Fremtteile	●	Δ	●	●	Δ

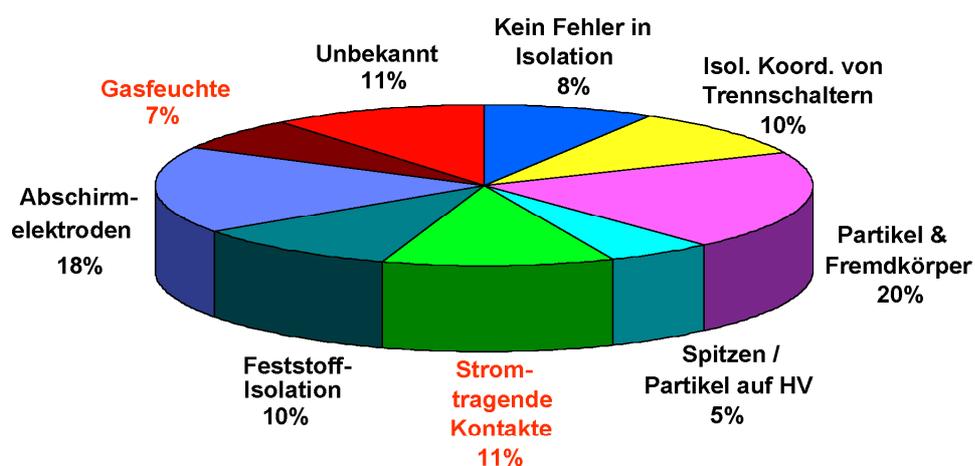
18 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

## Gasisolierte metallgekapselte Schaltanlagen (GIS) - Einführung und Überblick -

1. Einleitung
2. Grundsätzliches Design und Entwicklung über vier Jahrzehnte
3. Dielektrische Gesichtspunkte für Auslegung und Prüfung
4. Betriebserfahrungen
  - Fehlerursachen, Fehlerschwerpunkte, Fehlerraten
5. Zustandsüberwachung und Instandhaltung
6. Zusammenfassung

19 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

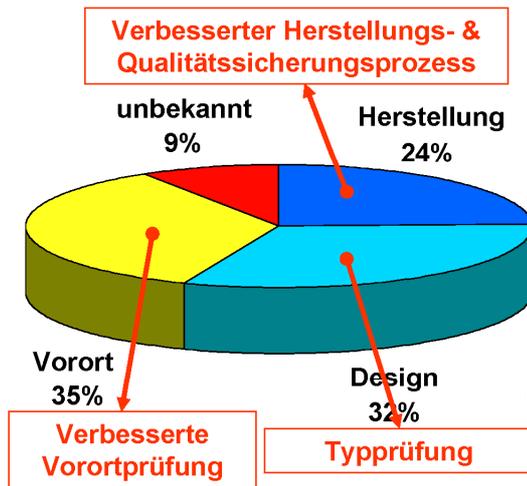
## Ursachen für dielektrische Fehler in GIS-Anlagen Umfrage CIGRE WG 33/23-12



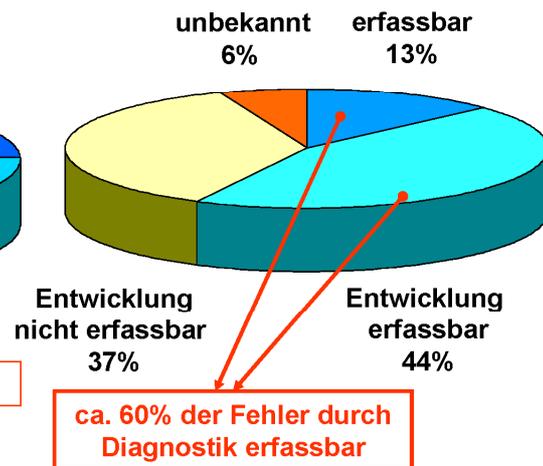
20 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

## Ursprung und Erfassbarkeit von dielektrischen Fehlern

Ursprung für dielektrische Fehler

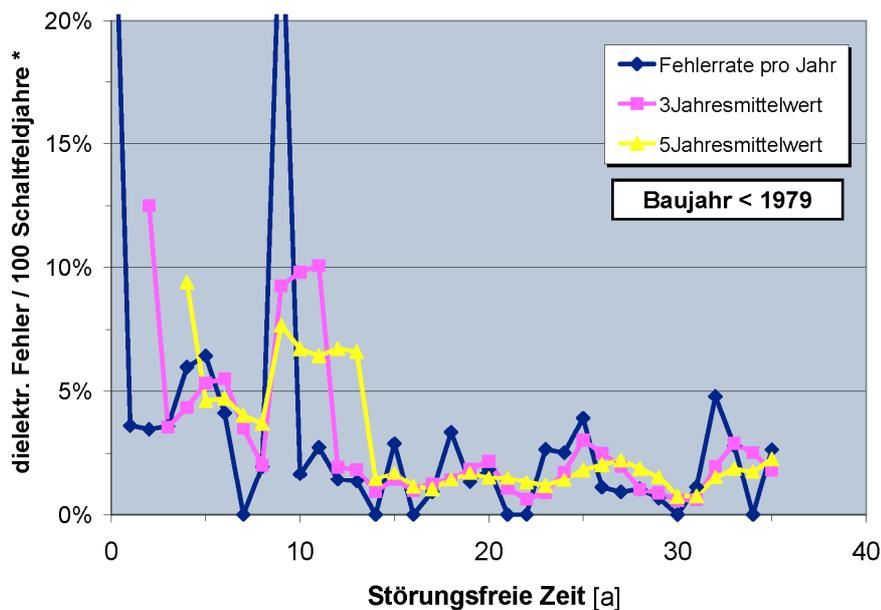


Erfassbarkeit von dielektrischen Fehlern durch geeinete Diagnostik



21 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

## Dielektrische Fehler in Abhängigkeit der Anlagengenerationen; 123-kV-Anlagen



22 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

## Gasisolierte metallgekapselte Schaltanlagen (GIS) - Einführung und Überblick -

1. Einleitung
2. Grundsätzliches Design und Entwicklung über vier Jahrzehnte
3. Dielektrische Gesichtspunkte für Auslegung und Prüfung
4. Betriebserfahrungen
5. Zustandsüberwachung und Instandhaltung
6. Zusammenfassung

23 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

## Instandhaltung (IH) von GIS

GIS-Anlagen im Allgemeinen wartungsarm

Instandhaltungsmaßnahmen sollen sicherstellen

- Funktionstüchtigkeit der Schaltgeräte

IH-Maßnahmen an Schaltgeräten unterscheiden sich nur wenig von Freiluft-Schaltgeräten. Gfs. Verlängerung der IH-Intervalle, da Anlagen im Innenraum installiert und hermetisch gekapselt

- Einwandfreies Isolationsverhalten

24 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

## Isolationsüberwachung & Überwachung des Gaszustandes

### Isolationsüberwachung

- Ziele: Fehlerfrüherkennung, Ausschöpfung der Nutzungsdauer
- Methoden: (Konvent. TE-Messung)  
UHF-TE-Messung: Messkreise, Sensoren, Kalibrierung
- Periodische Messungen, permanente Überwachung

### Überwachung des Gaszustandes

- Ziele: Erfassen von Änderungen der physikalischen und chemischen Eigenschaften des SF<sub>6</sub>-Gases
- Methoden: Gasanalyse -> Hinweis auf Unregelmäßigkeiten im Inneren der Gasräume

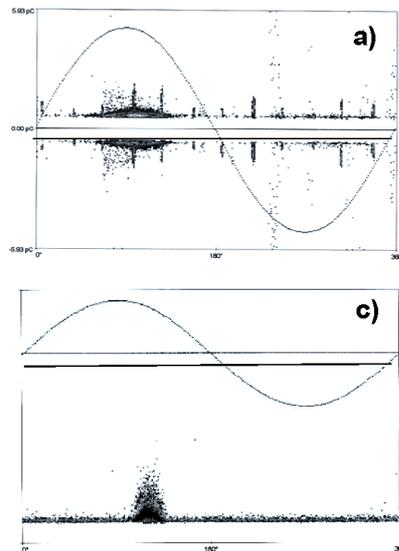
25 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

## Erfassung des Isolationszustands durch UHF-Teilentladungs- (TE-) Messung

- Rohre & Gehäuse der GIS-Anlage wirken wie Hohlraumresonator
- Anregung von Hohlraumwellen im Bereich 0,3...2,0 GHz durch TE-Impulse in GIS
- Auskopplung der TE-Signale durch Feldsonden (Antennen)
- Vorteile:
  - Deutliche Störsignalunterdrückung
  - Analyse des TE-Signals wie bei konvent. TE-Messung
- Nachteile:
  - Mess-Signal ortsabhängig, d. h. abhängig von Entfernung zwischen TE-Störstelle u. Auskopplung → Messung nicht kalibrierbar
  - Dämpfung des Messsignals → Installation von mehrere Feldsonden

26 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

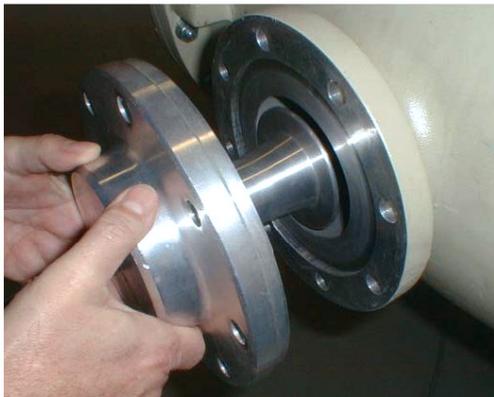
## TE-Messung an einer GIS-Anlage



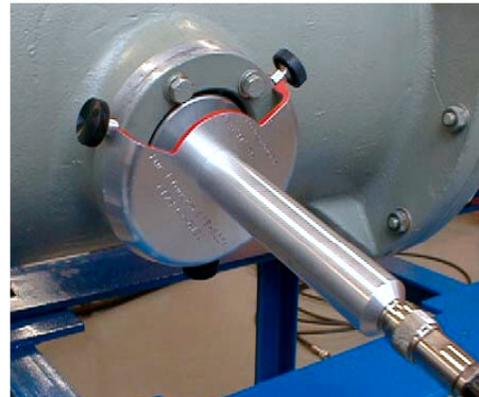
- a) konventionelle TE-Messung bei Beeinträchtigung durch periodische äußere Störer
- b) UHF-Messung (im Zeitbereich), TE- Signal direkt am Defekt
- c) UHF-Messung, TE-Signal etwa 10 m vom Defekt entfernt

27 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

## UHF-Sensoren; konventionell, mobil



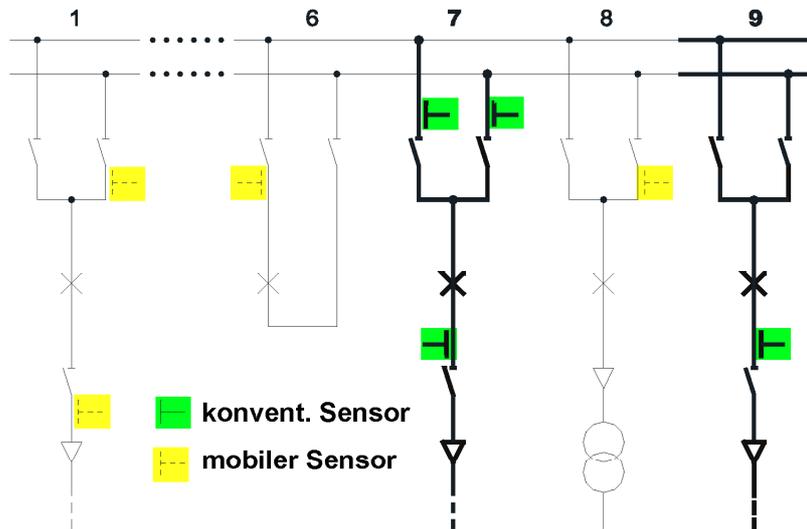
**Konventioneller Scheibensensor,  
 fest eingebaut**



**Mobiler Fenstersensor**

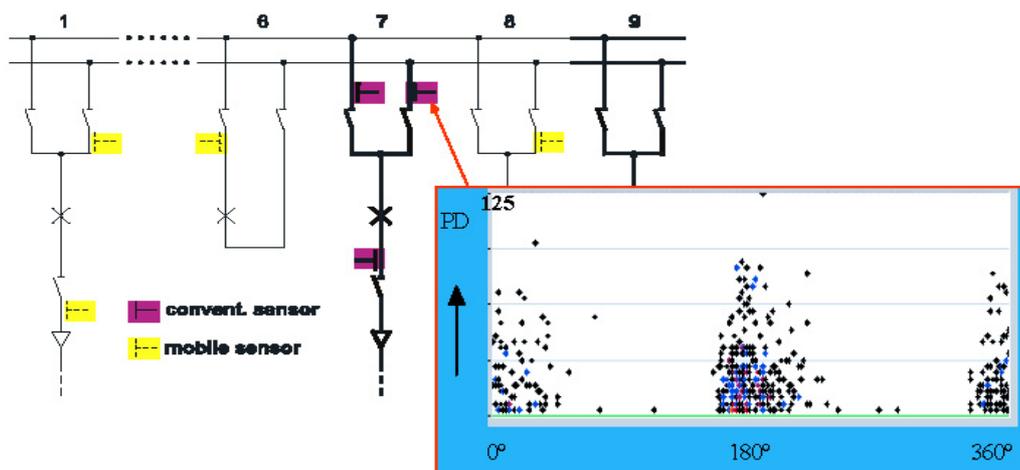
28 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

## 123-kV-GIS-Anlage mit UHF-Sensoren



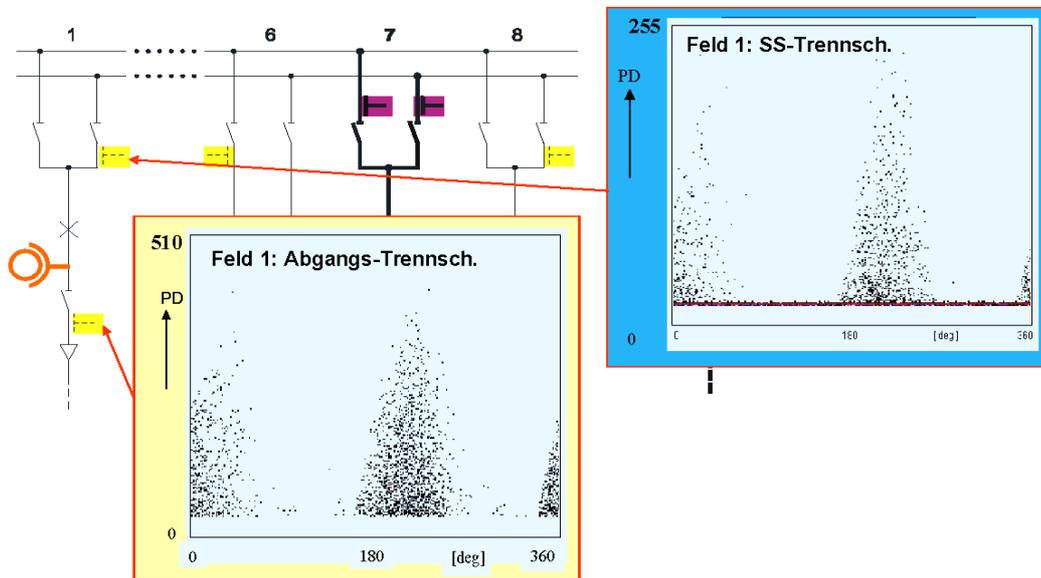
29 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

## TE-Signale gemessen mit UHF-Sensoren in 123-kV-GIS-Anlage



30 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

## TE-Messung und Ortung mit mobilen UHF-Sensoren



31 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

## Überwachung des Gaszustandes Grenzwerte für Gasfeuchte & Zersetzungsprodukte

### Gasfeuchte:

Taupunkt DP < min. Umgebungstemperatur (z. B. < -5 °C)

### Zersetzungsprodukte:

#### - Isoliergasräume:

Keine Zersetzungsprodukte zulässig (HF & SO<sub>2</sub> < 0,5 ppm)

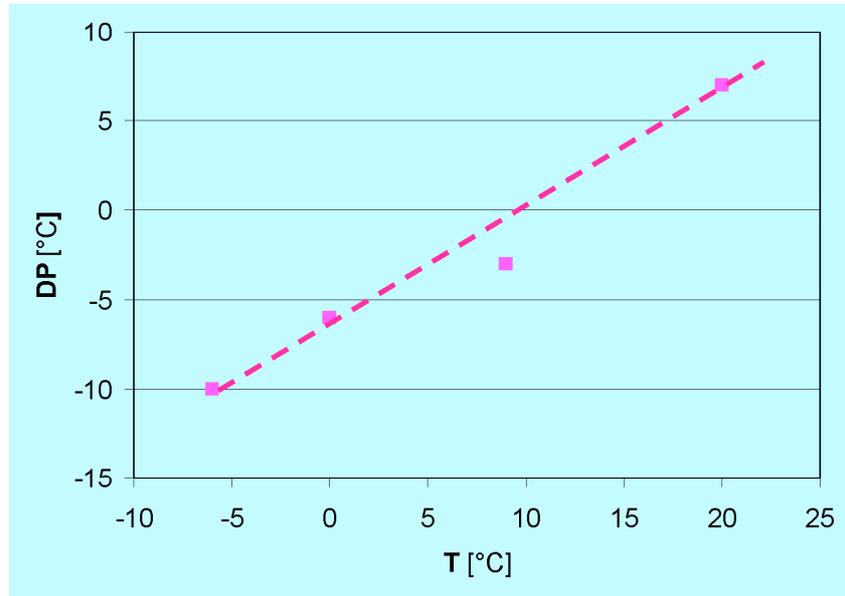
#### - Gasräume von Schaltgeräten mit Absorbern:

HF & SO<sub>2</sub> < 2 ppm

(Messung nicht im Zusammenhang mit Schalthandlungen)

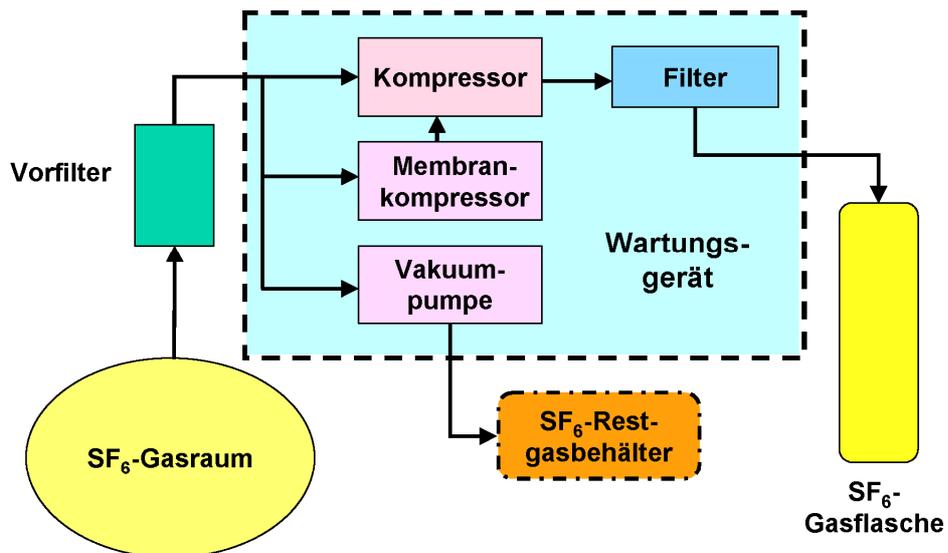
32 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

## Taupunkttemperatur DP in Abhängigkeit der Gas- bzw. Umgebungstemperatur T



33 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

## Prinzipielle Funktionsweise eines Gaswartungsgerätes



34 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

## Zusammenfassung

- GIS seit 1968 im Einsatz; kontinuierliche Weiterentwicklung ⇒ Raumbedarf reduziert auf ~ 30 % durch weitere Integration, durch Steigerung des Betriebsdruckes und bessere Ausnutzung der dielektrischen Festigkeit
- Für das Isolationsverhalten von SF6 gasisolierten Systemen dielektrische Festigkeit bei Blitzüberspannungen (LIO) und VFTO von besonderem Interesse, sowohl im ungestörten Zustand, aber insbesondere bei Defekten
- Betriebserfahrungen zeigen, neue Anlagengenerationen wesentlich zuverlässiger als Anlagen der 1. & 2. Generation, Ursachen für Fehler überwunden durch Typprüfungen, verbesserte Qualitätskontrolle, empfindliche HS-Prüfung
- Für störungsfreien Langzeitbetrieb einwandfreies Isolationsverhalten wichtig → Isolationsüberwachung, z. B. durch UHF-TE-Messung, Überwachung des Gaszustandes

35 GIS - Einführung und Übersicht | 05.11.2010

Danke für Ihr Interesse !

[claus.neumann@amprion.net](mailto:claus.neumann@amprion.net)



## *FKH - / VSE – Fachtagung*

*5. November 2010*

### *Gekapselte gasisolierte Schaltanlagen*

## **30 Jahre Betriebserfahrung mit der 220-kV-GIS im Pumpspeicherkraftwerk Grimsel 2**

**Dr. Thomas Aschwanden**

Kraftwerke Oberhasli AG, 3862 Innertkirchen

#### Angaben zum Lebenslauf

- 1978 Diplom als Elektroingenieur und Dissertation am Institut für Hochspannungstechnik, ETH Zürich
- 1980 Research Associate am Hahn-Meitner Institut für Kernforschung, Berlin und Polytec Institute of New York, Farmingdale
- 1987 Oberassistent Institut für Hochspannungstechnik, ETH Zürich
- 1990 Geschäftsleiter der Fachkommission für Hochspannungstechnik, FKH, Zürich
- 1998 Leiter Engineering Netze, BKW FMB Energie AG, Bern
- 2003 Leiter Operations Netze, BKW FMB Energie AG, Bern
- seit 2005 Kraftwerke Oberhasli AG, Innertkirchen, Abteilung Engineering



# 30 Jahre Betriebserfahrung mit der 220-kV-GIS im Pumpspeicherkraftwerk Grimsel 2

**Thomas Aschwanden**  
Kraftwerke Oberhasli AG, 3862 Innertkirchen

## 1. Einleitung

Das Pumpspeicherkraftwerk Grimsel 2 der Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) nutzt das Wasser auf der Gefällsstufe Oberaarsee (2303 müM, 57 Mio m<sup>3</sup>) und Grimselsee (1908 müM, 94 Mio m<sup>3</sup>). Die vier installierten Maschinengruppen haben eine Leistung von total 400 MVA und produzieren im Turbinenbetrieb total ca. 1.8 TWh Energie pro Jahr. Für den Pumpenbetrieb werden in Schwachlastzeiten ca. 300 bis 400 GWh aus dem Uebertragungsnetz bezogen. Der Anschluss an das 220-kV-Netz erfolgt über eine gekapselte Schaltanlage (GIS) und zwei Werkleitungen, welche vom Kraftwerk Grimsel 2 zum 220-kV-Netzknoten Innertkirchen führen. Das Kraftwerk Grimsel 2 gehört zu den grössten Pumpspeicheranlagen der Schweiz und liefert einen substantiellen Beitrag zur Versorgungssicherheit des regionalen und nationalen Energieversorgungssystems. Die Anlage wurde 1979 in Betrieb genommen.

## 2. Anforderungen aus dem Pumpspeicherbetrieb

Die Pumpspeicherung spielt zurzeit, aber auch mittel- und langfristig, eine wichtige Rolle im Zusammenhang mit der Versorgungssicherheit des nationalen und internationalen Verbundnetzes. Insbesondere durch den stark angestiegenen Anteil von nicht regulierbaren Produktionsanlagen, wie Wind- und Solarkraftwerke im In- und Ausland, ist ein zunehmender Bedarf nach kurzfristig einsetzbarer Regelleistung vorhanden.

Die Anlage Grimsel 2 wird vorwiegend für den Umwälzbetrieb mit Turbinenbetrieb in bedarfsintensiven Stunden (tagsüber) und im Pumpenbetrieb in bedarfsschwachen Stunden, d.h. nachts und an den Wochenenden eingesetzt. Ausserdem dient die Anlage den Netzdienstleistungen (Systemdienstleistungen): Primärregelung, Sekundärregelung und Tertiärregelung. Weitere Funktionen von untergeordneter Bedeutung sind die Spannungshaltung (Blindleistungsregelung) und der Phasenschieberbetrieb.

Das breite Einsatzspektrum des Pumpspeicherkraftwerks erfordert grundsätzlich:

- Einsatzflexibilität
- Verfügbarkeit
- Wartungsfreundlichkeit
- Anlagen- und Personensicherheit

Mit Bezug auf die Anlagen der Netzanbindung, insbesondere für die Hochspannungs-Schaltanlagen stehen folgende Anforderungskriterien im Vordergrund:

- Hohe Verfügbarkeit durch Redundanz
- Robuste und wartungsarme Anlagenkonstruktion
- Lange Lebensdauer

Bei der GIS-Schaltanlage Grimsel 2 werden durch die hohe Schalthäufigkeit insbesondere die Leistungsschalter mechanisch stark beansprucht. Diese spezielle Anforderung war aufgrund des Anlagenkonzepts (Blockschaltung ohne Generatorschalter) bei der ursprünglichen Spezifikation der GIS-Anlage grundsätzlich bekannt. Ueber die Standzeiten der eingesetzten Schalterkonstruktion existierten aber damals noch keine fundierten Erfahrungen.

Durch die Einführung des offenen Strommarktes hat der Umwälzbetrieb im Kraftwerk Grimsel 2 in den letzten Jahren (ab ca. 2000) enorm zugenommen. So werden je nach Marktbedürfnissen die vier Maschinengruppen mehrmals pro Tag ein- und ausgeschaltet. Ein direktes Abbild dieser Intensivierung des Umwälzbetriebs stellt die starke Zunahme der Anzahl Schaltvorgänge in der 220-kV-GIS-Schaltanlage dar (Bild 2). So wurde allein im vergangenen Jahr jeder Leistungsschalter der vier Maschinenfelder mit über 2000 Schaltungen beansprucht. Heute nach 30 Jahren Betriebszeit hat jeder der vier Maschinenschalter über 22'000 Schaltspiele ausgeführt.

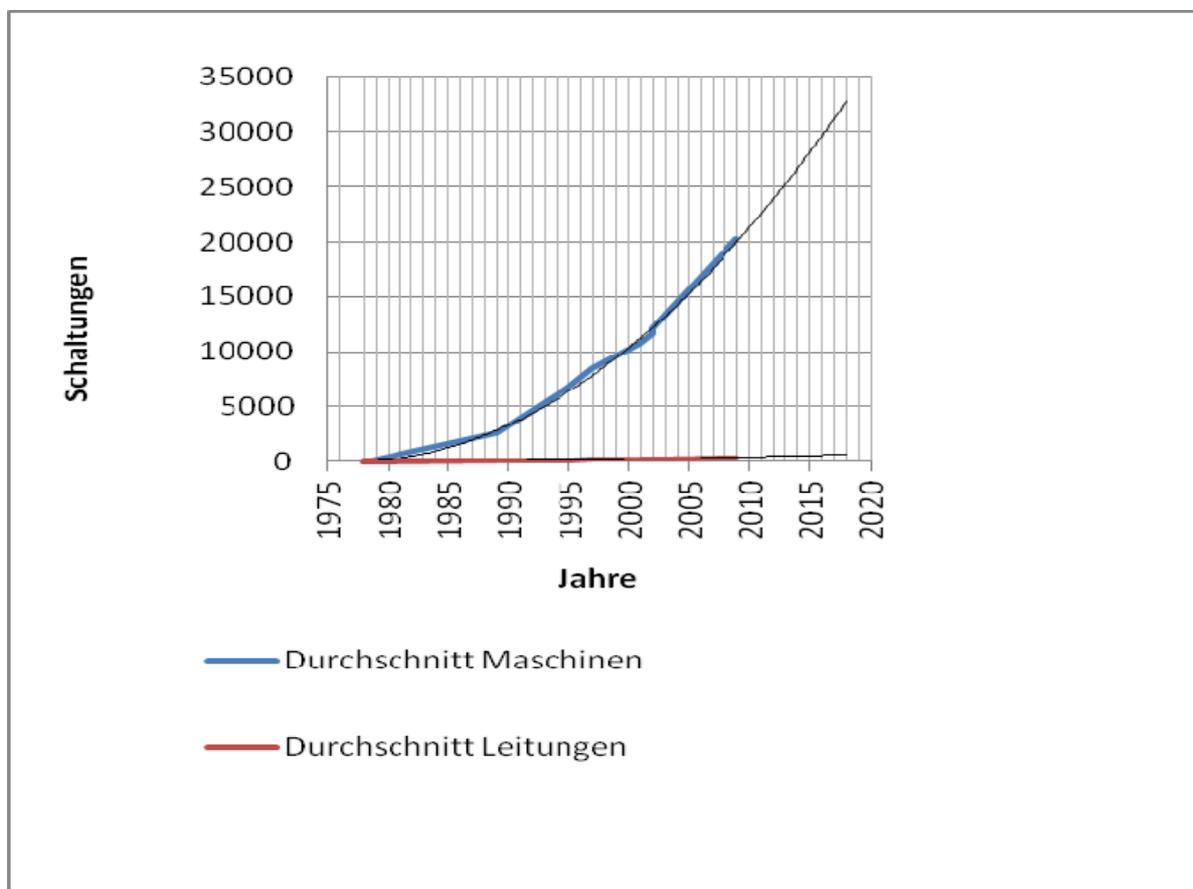


Bild 1

Kumulierte Anzahl Schaltspiele 220kV-GIS Grimsel 2

Neben den hohen mechanischen Beanspruchungen stellen auch die Kurzschluss-Ströme in bestimmten Fehlerfällen (z.B. Fehler an Sammelschiene) wegen den direkt angeschlossenen Synchronmaschinen hohe Anforderungen an die Abschaltfähigkeit der Leistungsschalter. Insbesondere können bei Ausschaltungen im Pumpbetrieb in bestimmten Betriebszuständen sowie im Fall einer Fehlsynchronisation kritische Schaltbedingungen mit fehlenden Nulldurchgängen auftreten.

## 2. Das Anlagenkonzept der 220-kV GIS Grimsel 2

Die Maschinen- und Blocktransformatoren des Kraftwerks Grimsel 2 befinden sich in einer Kavernenzentrale ca. 140 m unter dem Niveau des Grimselsees (Kote 1760 müM). In unmittelbarer Nähe des Kraftwerks ist in einer separaten Kaverne die 220-kV-Schaltanlage Grimsel untergebracht. Aus Gründen des Platzbedarfs kam nur eine Ausführung in gekapselter SF<sub>6</sub>-isolierter Bauweise (GIS) in Frage. Das Anlagenkonzept sieht eine Doppelsammelschiene vor, an der die vier 100-MVA-Motor/Generatoren (MG) via 13.5/220-kV-Blocktransformatoren über einen Leistungsschalter an des 220-kV-Netz angeschlossen sind. Das Ein- und Ausschalten der Maschinengruppen erfolgt ausschliesslich über diese Leistungsschalter; ein Generatorschalter auf der 13.5-kV-Seite des Blocktransformators ist nicht vorhanden. Neben den vier Maschinengruppen zum Anschluss der Maschinengruppen Grimsel 2 weist die Anlage ein Leitungs-Feld für die Einspeisung der Zentrale Grimsel 1 (2 Maschinen) sowie zwei Leitungsfelder für die Energieübertragung nach Innerkirchen auf. Alle Anschlüsse an die GIS-Anlage erfolgen über Oel/Papier-Kabelsysteme.

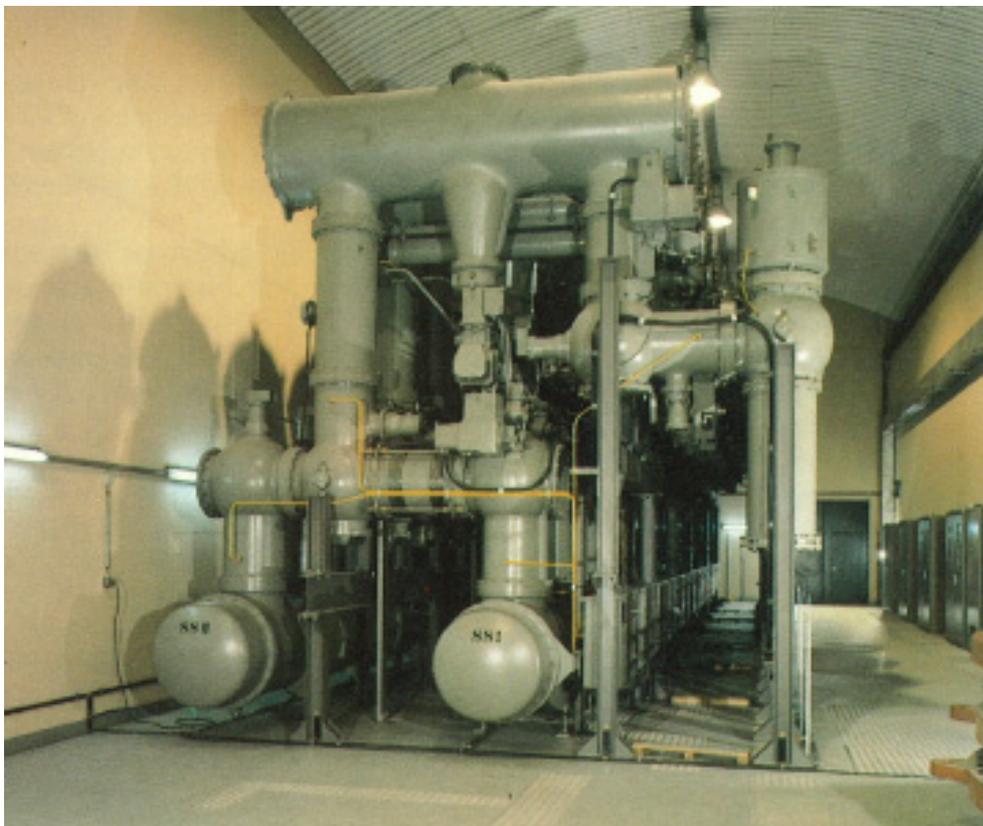
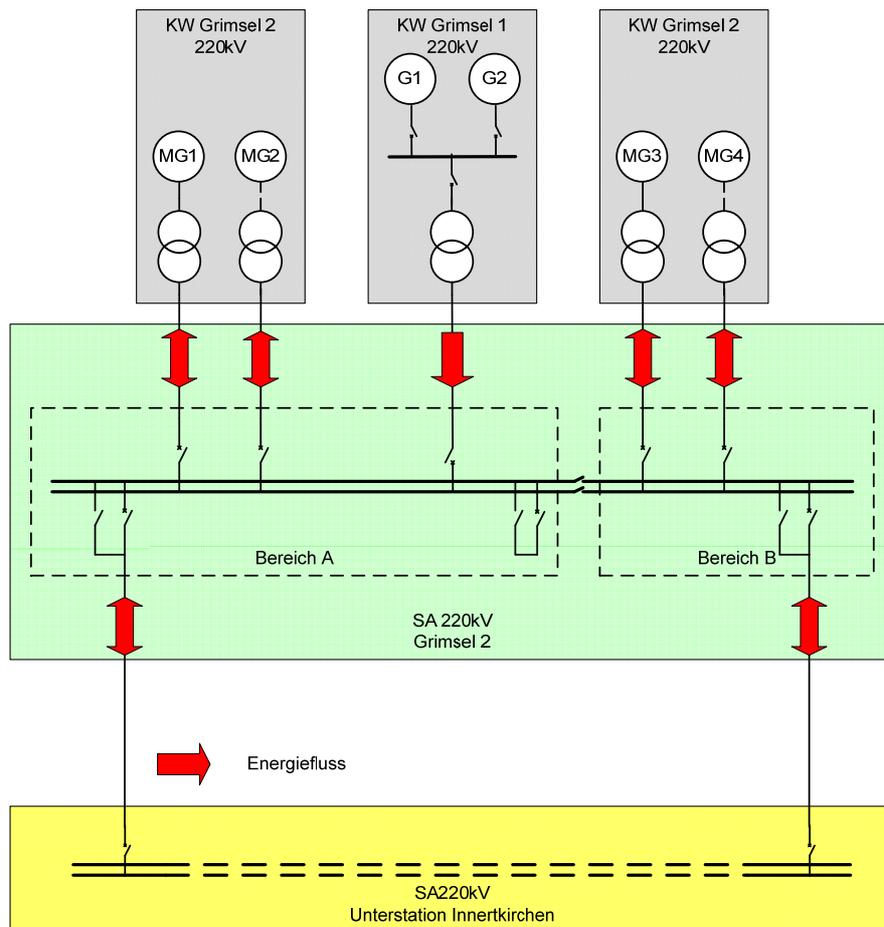


Bild 2 220-kV-GIS Grimsel 2 in der Kaverne



**Bild 3:** Prinzipschema 220-kV GIS Grimsel 2

### 3. Technische Daten der 220-kV-GIS

Ein Schnitt durch ein Feld der Schaltanlage ist in Bild 3 dargestellt. Mit Ausnahme des Sammelschienensystems (unten), in dem alle drei Phasen in einer gemeinsamen Kapselung aus Stahl untergebracht sind, enthalten die Felder nur einpolige Schalt- und Leitungselemente.

Der oben horizontal angebrachte Leistungsschalter besteht aus zwei Unterbrechereinheiten, welche nach dem Blaskolbenprinzip arbeiten. Mittels parallelgeschalteter Kondensatoren wird eine gleichmässige Spannungsverteilung über den Unterbrechereinheiten gewährleistet. Der Antrieb des Schalters ist hydraulisch, wobei die Antriebsenergie durch Kompression von Stickstoff in einem Hydraulikspeicher erzeugt wird.

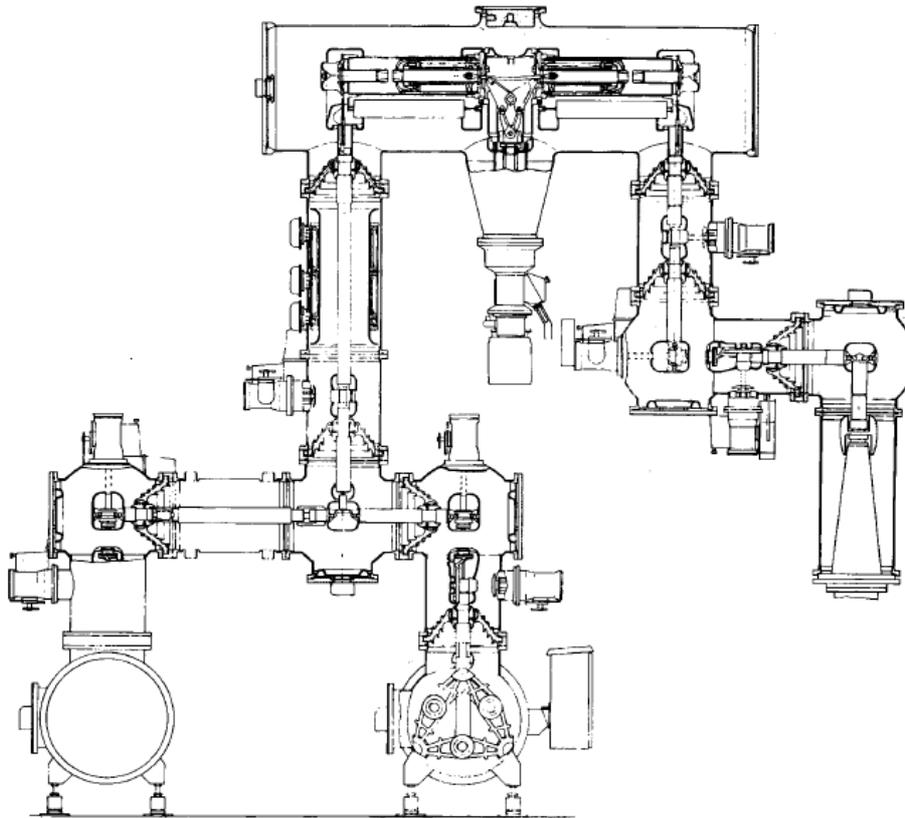


Bild 4 Schnitt durch ein Schaltfeld (SIEMENS 8D.4)

SIEMENS Typ 8D4		
Nennstehwechselfspannung	460	kV
Nennstehblitzstossspannung	1050	kV
Nennstehstossschaltstossspannung	850	kV
Nennkurzschlussstrom (1s)	40	kA
Nennstossstrom	100	kV
Nennstrom Sammelschiene	2500	A
Nennstrom Leitungsfelder	1600	A
Feldbreite	3000	mm
Fülldruck Anlage (ohne Schalter)	3.2	bar
Fülldruck Schalter	6.5	bar
SF <sub>6</sub> -Gasgewicht (ganze Anlage)	3910	kg

Tabelle 1 Technische Daten der 220-kV-GIS

#### 4. Betriebserfahrung, Schadenfälle

In der ersten kritischen Phase nach der Inbetriebsetzung zeichnete sich die Anlage durch eine erfreulich hohe Verfügbarkeit aus. Es sind in dieser Zeit keine nennenswerten Fehler oder Ausfälle bekannt. Dieses positive Verhalten ist doch bemerkenswert, wenn man berücksichtigt, dass Ende der 70er-Jahre mit GIS-Anlagen dieser Spannungsebene keinerlei Erfahrung vorlag und dass damals infolge der noch nicht abgeschlossenen Bauarbeiten die Montage der GIS unter keineswegs idealen Montagebedingungen (Staub) erfolgen musste. Ueberdies gab es nach der Montage auch keine Spannungsprüfung. Diese durchaus positive Erfahrung kann teilweise durch das konservative dielektrische Design der Anlage erklärt werden. Die Konstruktion weist bei einer Betriebsspannung von 238-kV mit Sicherheit noch „Reserven“ auf. So hat doch dieselbe Anlage auch alle Typprüfungen der Spannungsreihe  $U_m$  300 kV erfolgreich bestanden.

Die wichtigsten Instandhaltungsmassnahmen und die aufgetretenen Schadenfälle sind in der Tabelle 2 zusammengestellt. Von Herstellerseite wurden im Intervall von 4 Jahren Routinekontrollen und alle 8 Jahre (oder nach 1500 Schaltspielen) eine kleine Revision empfohlen. Eine grosse Revision sollte nach 3000 Schaltspielen oder nach 16 Jahren vorgenommen werden.

Da die Verfügbarkeit jeder Schaltanlage bekanntlich auch vom Zustand der Sekundärtechnik abhängt, finden jährlich Funktionsprüfungen statt, bei denen u.a. auch die Schutzauslösungen überprüft werden.

<i>Zeitpunkt</i>	<i>Anzahl Schaltungen</i>	<i>Massnahme</i>
1989 (nach 10 Jahren)	2'650	Erweiterte Sichtkontrolle mit einem Filterwechsel in allen Schaltfeldern
1995 (nach 16 Jahren)	6'740	Grosse Revision mit Ersatz der Verschleissteile
2002 (nach 23 Jahren)	11'660	Grosse Revision mit Ersatz der Steuerkondensatoren in den Maschinenschaltern
2005 (nach 26 Jahren)	ca. 14'000	Ersatz der Antriebs- und Steuerstangen in den Maschinenschaltern AD3 und AD4
2009 (nach 30 Jahren)	20'990	Havarie in Feld AD3: Bruch eines Stehbolzens an der Befestigung eines Steuerkondensators
2010 (nach 31 Jahren)	ca 21'000	Havarie im Feld AD2: gleiche Ursache wie im Feld AD3
2010 (nach 31 Jahren)	22'360	Grosse Revision an allen Schaltfeldern mit Ersatz von Steuerkondensatoren Kontaktsystemen und Schaltkammern

**Tabelle 2** Instandhaltungsmassnahmen und Schadenfälle



**Bild 5** Ausgebaute Aktivteile der Leistungsschalter. Links unter der Schaltkammer ist einer der beiden Steuerkondensatoren sichtbar.

Der bisher gravierendste Schadenfall entwickelte sich an einem Schalterpol des Maschinenschalters AD3 nach einer Revision. An der Befestigung eines der beiden Steuerkondensatoren war infolge der dynamischen Beanspruchung bei den Schaltvorgängen ein Stehbolzen gebrochen. Der Kondensator verlor damit an einem Ende die Kontaktierung und es kam dadurch im Innern des Schalters zu heftigen Entladungen, welche die Schaltkammer und das Kondensatorgehäuse stark beschädigten (Bild 5). Der Schaden wurde wegen der starken Geräuschentwicklung beim Zuschalten des Sammelschienentrenners durch das Betriebspersonal (November 2009) noch rechtzeitig entdeckt, so dass ein vollständiges Versagen der Isolation verhindert werden konnte.

Nachdem kurz darauf (Februar 2010) ein weiterer Maschinenschalter (AD2) mit einem identischen Defekt (gebrochener Stehbolzen) ausfiel, wurden alle Schalter einer eingehenden Kontrolle unterzogen. Bei dieser Kontrolle wurde an einem dritten Schalterpol (Maschinenschalter AD4) ein gleicher Schaden festgestellt. Durch eine konstruktive Verbesserung des Stehbolzens (Vermeidung von Kerbwirkung) und durch den Austausch sämtlicher Steuerkondensatoren sind inzwischen alle Schalter wieder instandgesetzt und im Betrieb.



**Bild 6** Verkohlte Schaltkammer des Leistungsschalters AD3 mit Steuerkondensator unten.

Die beschriebenen Vorfälle haben deutlich gezeigt, dass jeder Eingriff in den Aktivteil eines Schalters auch immer ein Risiko darstellt. Andererseits zeigen die Erfahrungen, dass die bisher verfolgte Strategie, sich bei der Instandhaltung auf die Leistungsschalter zu konzentrieren und die Gasräume der übrigen GIS-Komponenten möglichst nicht zu öffnen, bisher als richtig erwiesen.

Neben diesen Defekten am Aktivteil des Leistungsschalters gab es auch diverse Leckagen an den Hydraulikleitungen des Schalterantriebs. Diese Schäden konnten mit Ersatzteilen rasch behoben werden; es entstanden dadurch keine längeren Ausfallzeiten.

## **5. Schaltanlagenersatz**

Zur Sicherstellung der hohen Verfügbarkeit der Pumpspeicherkraftwerks Grimsel 2 wird die bestehende GIS-Schaltanlage im Jahr 2012 ersetzt werden. Die Verfügbarkeit der Kraftwerkanlage wird durch eine Sammelschienen-Längstrennung und durch einen Ueberbrückungsweig (Bypass) über den Leitungsfeldern der Energieableitung verbessert.

Dieser GIS-Ersatz erfolgt zeitlich koordiniert mit der geplanten Erneuerung (Retrofit) des elektromechanischen Teils der Kraftwerksanlagen und mit der bereits eingeleiteten Umrüstung einer Maschine auf drehzahlvariablen Pumpenbetrieb.

Die neue Schaltanlage Grimsel 2 muss so ausgelegt sein, dass der Netzanschluss des neuen Pumpspeicherkraftwerks Grimsel 3 auf der Spannungsebene 220 kV möglich ist.



## *FKH- / VSE-Fachtagung*

*5. November 2010*

### *Gekapselte gasisolierte Schaltanlagen*

## **Dielektrische Koordination in gasisolierten Hochspannungsschaltern**

**M.Sc. ETH Electrical Engineering Philipp Simka**  
Institut für elektrische Energieversorgung und  
Hochspannungstechnik, ETH Zürich

1991–1998	Gymnasium, Kantonsschule Graubünden
1998-2005	Studium Informationstechnologie und Elektrotechnik Vertiefung: Hochspannungstechnik sowie Feldtheorie und Hochfrequenztechnik ETH Zürich
2002	Praktikum als Applikationsprogrammierer, Etablissements Slama Frères, Oued Ellil/Tunis
2003	Praktikum als Licht- und Toningenieur, Brasser AG, Zizers
2005	Projektleiter und Eventmanager, VSETH, Zürich
2006	Praktikum als Laborassistent, ABB High Power Laboratory, Ludvika, Schweden
seit 2006	Doktorand an der Fachgruppe Hochspannungstechnologie, ETH Zürich



# Dielektrische Koordination in gasisolierten Hochspannungsschaltern

Philipp Simka

Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich

## 1. Einführung

Leistungsschalter im Uebertragungsnetz sind heutzutage praktisch ausschliesslich SF<sub>6</sub>-isolierte Schalter mit mechanischer Kontakttrennung. In diesen Schaltern, sind die wesentlichen dielektrisch zu koordinierenden Komponenten die Kammerschirmung, die Nennstrom- und die Abbrandkontakte (siehe Abb.1).

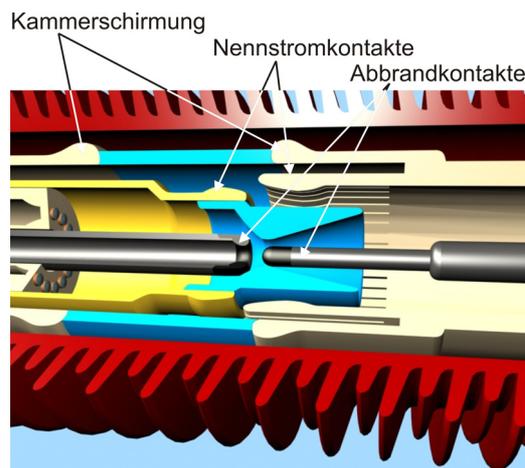


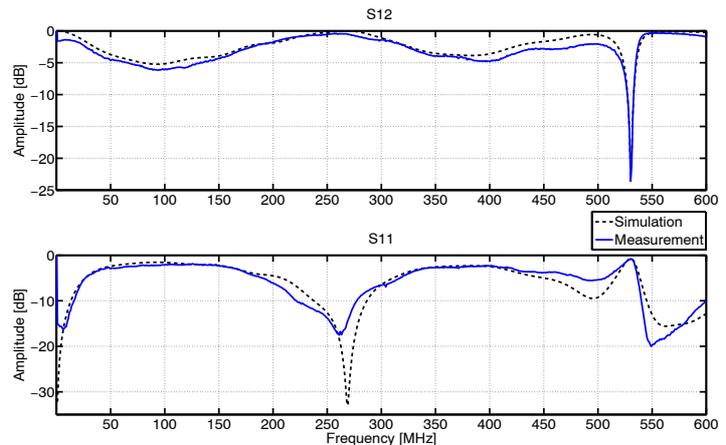
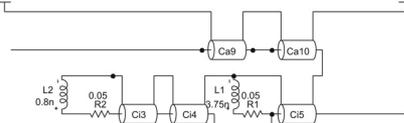
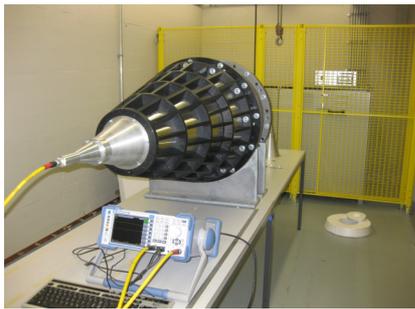
Abbildung 1: Schematische Übersicht der Schaltkammer eines Hochspannungsschalters

Diese Komponenten werden üblicherweise anhand elektrostatischer Feldberechnungen designet und optimiert. Es muss sichergestellt werden, dass ein Durchschlag nur zwischen den Abbrandkontakten erfolgt.

In diesem Projekt wird untersucht, ob schnelle transiente Überspannungen, wie sie beispielsweise beim Trenner-schalten in GIS vorkommen, die dielektrische Koordination der Schaltkammer stören können.

## 2. Modellierung im HF-Bereich

Um die schnellen transienten Spannungen (very fast transients) zu studieren, wurde am Institut für elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik ein elektrisches Ersatzmodell eines Hochspannungsschalters entwickelt. Dieses Modell wurde durch Messungen an Komponenten des modellierten Objektes experimentell verifiziert (vgl. Abb.2). Dieses Modell erlaubt eine realitätsnahe Simulation transienter Vorgänge in Löschkammern bis zu einer Grenzfrequenz von etwa 500 MHz.



**Abbildung 2: Messsystem, Modellierung am Beispiel des beweglichen Kontaktes eines Hochspannungsschalters und Vergleich zwischen Messung und Simulation**

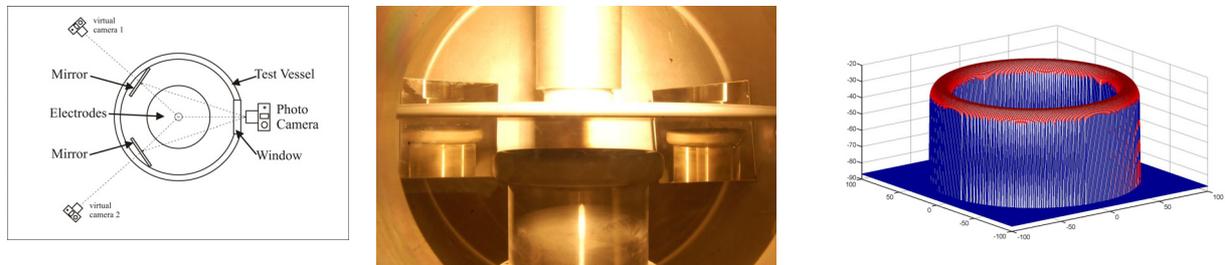
Verschiedene Simulationen haben gezeigt, dass in diesem Frequenzbereich beispielsweise durch Vorzündungen beim Einschalten, schnelle transiente Überspannungen an den Nennstromkontakten entstehen können. Diese können Amplituden über der stationären Nennspannung erreichen, sind aber bereits nach einigen 100 ns gedämpft.

### 3. Messung im HV-Bereich

Um zu untersuchen ob die oben genannten Überspannungen auch zu einem Versagen der Isolation führen können, wurde ein experimenteller Versuchsstand aufgebaut, welcher die Durchschlagswahrscheinlichkeiten und Durchschlagsorte in einer schalterähnlichen Geometrie in Abhängigkeit der angelegten Spannungsform eruieren kann (Abb.3). Mit einer eigens dafür entwickelten Diagnostik (Abb.4) können die Fusspunkte der Durchschläge lokalisiert werden. Der evtl. störende Einfluss der schnellen transienten Überspannung kann hiermit genau bestimmt werden.



**Abbildung 3: Versuchsaufbau zur Evaluation von Durchschlagswahrscheinlichkeiten in Hochspannungsschaltkontakten**



**Abbildung 4: Schematische Darstellung der Fusspunktrekonstruktion (links), Foto der Elektrodenanordnung als Input (mitte) und entwickeltes Image-Processing (rechts)**

#### **Danksagung:**

**Dieses Projekt wird mit finanzieller und inhaltlicher Unterstützung der ABB Schweiz (Hochspannungsprodukte und Forschungszentrum) durchgeführt.**



## ***FKH- / VSE-Fachtagung***

*5. November 2010*

### ***Gekapselte gasisolierte Schaltanlagen***

# **Einfluss der Bauformen und Aufbauten von gekapselten gasisolierten Hochspannungs- schaltanlagen auf Betrieb, Service und Wartung**

**Dr.-Ing. Jörg Bausch**  
Siemens AG, Energy Sector,  
Power Transmission Division,  
Erlangen, Deutschland

- Studium der Informatik und Elektrotechnik an der Universität Karlsruhe (TH)
- Wiss. Mitarbeiter und Promotion am Lehrstuhl für Industrielle Informationstechnik (IIIT) an der Universität Karlsruhe (TH)
- Mitarbeiter beim Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) in Karlsruhe
- Projektleiter bei der Siemens AG in Erlangen
- seit 2008 Produktmanager GIS bei der Siemens AG in Erlangen



# **Einfluss der Bauformen und Aufbauten von gekapselten gasisolierten Hochspannungsschaltanlagen auf Betrieb, Service und Wartung**

Jörg Bausch  
Siemens AG, Erlangen

## **Kurzfassung**

Für Betreiber von Hochspannungsschaltanlagen sind neben der Zuverlässigkeit vor allem Erweiterbarkeit, Service- und Reparaturfreundlichkeit, bei anwenderdefinierter Verfügbarkeit, wichtige Kriterien. Hinsichtlich der Betriebsführung sind dies die Bedingungen für das Freischalten, der Verlust von Schaltfeldern, Anlagenteilen oder der gesamten Schaltanlage um nur einige anzuführen. Bedingt werden diese Kriterien durch unterschiedliche Einflussgrößen wie das Betriebskonzept, die elektrische Schaltung, der physikalische Aufbau, das Gasraumkonzept oder auch das Komponentendesign. Seitens des Schaltanlagenbetreibers ergibt sich hieraus die Fragestellung, inwiefern diese Faktoren die Verfügbarkeit und den Betrieb einer Schaltanlage beeinflussen.

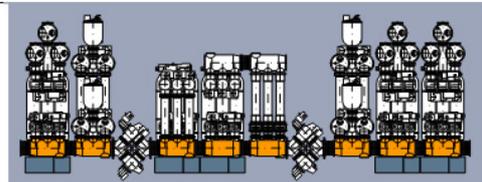
In Beispielen und exemplarischen Fallstudien wird die Fragestellung erörtert und ein Einblick in die Abhängigkeiten der Einflussgrößen gegeben. Betrachtet werden unterschiedliche Schaltungen für Verteil- und Übertragungsanwendungen und typische Aufbauten von Schaltanlagen. Weiterhin werden unterschiedliche Bauformen vorgestellt und auf die damit verbundenen Gasraumkonzepte eingegangen. Es wird eine mögliche Einteilung der Verfügbarkeit von Schaltanlagen vorgestellt und am Beispiel des Ausbaus eines Trennschalters der Einfluss von Aufbau, Design und Gasraumkonzeption auf den Betrieb diskutiert. Ein weiteres Fallbeispiel, in dem die Erweiterung einer Schaltanlage mit anschließender Hochspannungsprüfung gezeigt wird, schließt den Vortrag ab.

## Inhaltsübersicht

SIEMENS

### 1. Anlagenkonzepte

- i. Typische Anlagenaufbauten für Verteilstationen
- ii. Typische Anlagenaufbauten für Übertragungsstationen



Anlagenkonzepte

### 2. Typische Bauformen von Hochspannungsschaltanlagen

- i. 3-phasig gekapselte Schaltanlagen
- ii. 1-phasig gekapselte Schaltanlagen
- iii. Mischbauweisen
- iv. Gasraumkonzepte



Doppelsammelschiene, 1-phasig gekapselt 245kV

### 3. Einfluss von Bauformen und Anlagenkonzept auf Betrieb, Wartung und Service

- i. Einflussfaktoren
- ii. Fallbeispiel: Austausch eines Sammelschientrenners
- iii. Fallbeispiel: Erweiterung



3-phasig gekapselte Sammelschiene 220kV

Seite 0

05. November 2010 –FKH/VSE Fachtagung, Zürich - Dr. Jörg Bausch

Energy Sector – E T HS

## Einleitung

SIEMENS

Für Betreiber von Hochspannungsschaltanlagen sind neben der Zuverlässigkeit vor allem **Erweiterbarkeit**, **Service- und Reparaturfreundlichkeit**, bei anwenderdefinierter Verfügbarkeit, wichtige Kriterien.

#### Kriterien der Betriebsführung (Beispiele):

- Freischaltungen sind nicht erlaubt
- Verlust der Flexibilität in der Betriebsführung
- Verlust von Schaltfeldern
- Verlust der gesamten Anlage

#### Wichtige Einflussgrößen:

- Betriebskonzept (z.B. Verteil- / Übertragungsstation)
- Schaltungsprinzip (single-line-diagram)
- (Physikalischer) Anlagenaufbau
- Feldaufbau
- Gasraumkonzept
- Komponenten design

Fragestellung: Wie beeinflussen diese Faktoren die Verfügbarkeit und den Betrieb einer Schaltanlage?

#### ➡ Fallstudien (Beispiele)



Aufbau mit Einfach-Sammelschiene 145kV



Aufbau mit Doppel-Sammelschiene 220kV

Seite 1

05. November 2010 –FKH/VSE Fachtagung, Zürich - Dr. Jörg Bausch

Energy Sector – E T HS

# 1 Anlagenkonzepte SIEMENS

Die betrieblichen Einsatzbedingungen bestimmen die elektrische Schaltung und den Anlagenaufbau einer Hochspannungsschaltanlage.

- Einfach-, Doppel- und Dreifachsammelschiene, 1½- Leistungsschaltermethode, etc.
- Einspeise- und Abgangsweige
- Art der Betriebsführung
- Unterteilung zur Vermeidung hoher Abschaltleistungen
- Freischaltungen zur Reinigung, Wartung, Erweiterung, etc.
- Aufstellung in Freiluft oder Betriebsgebäuden



Aufbau mit 1-phasiger Doppelsammelschiene 245kV



3-phasiges Freiluft-Strichschaltfeld 145kV

# 2 Typische Bauformen SIEMENS

Üblicherweise werden gekapselte gasisolierte Hochspannungsschaltanlagen aus einem Pool verschiedener Module aufgebaut (Baukastenprinzip). Je nach Spannungsebene und Einsatzzweck kommen hierzu 1-, 3-phasig gekapselte oder Mischbauweisen zum Einsatz. Die Kapselung besteht überwiegend aus unmagnetischem und korrosionsbeständigem Aluminiumguss oder auch aus geschweißten Aluminiumblechen.

Im Allgemeinen gilt:

- ≤ 170 kV: 3-phasig gekapselt
- > 170 kV: 1-phasig gekapselt
- > 145 kV: Mischbauweise ebenfalls üblich

➡ Die Bauformen bedingen die Anordnung der Gasräume und haben damit auch Einfluss auf Betrieb, Service und Wartung



≤ 170 kV

Doppelsammelschiene 3-phasige Kapselung



> 170 kV

Doppelsammelschiene 1-phasige Kapselung



> 145 kV

Doppelsammelschiene in Mischbauweise: 3-phasig gekapselte Sammelschiene 1-phasig gekapselter Feldaufbau

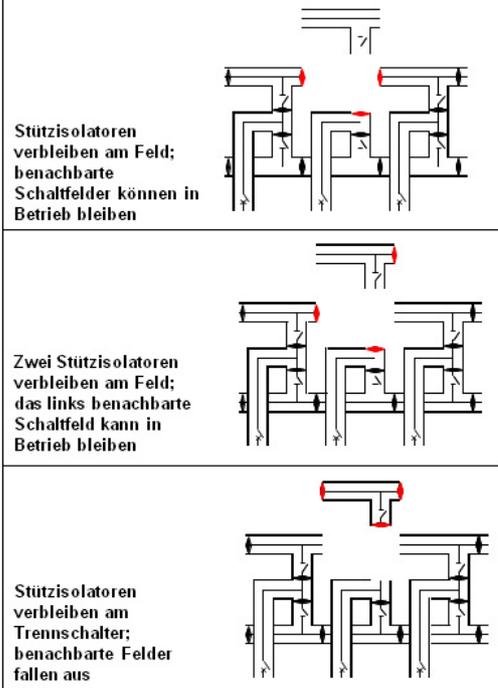
## 2.iv Typische Bauformen

### Gasraumkonzepte

SIEMENS

Die Definition der Gasräume und die Lage bzw. Modulzugehörigkeit der Gießharzdurchführungen bedingen die Verfügbarkeit im Falle von Wartung, Service und Reparatur.

Die drei Beispiele zeigen schematisch den Einfluss auf die Verfügbarkeit der benachbarten Schaltfelder. Je nach Konfiguration der Gießharzdurchführungen sind beim Ausbau eines Trennschalters keine, ein oder beide benachbarten Schaltfelder freizuschalten. Dieser Tatsache kann schon bei der Planung einer Anlage Rechnung getragen werden.



## *FKH- / VSE-Fachtagung*

*5. November 2010*

### *Gekapselte gasisolierte Schaltanlagen*

## **Mixed Technology Switchgear: Technologie; Anwendung und Trends**

**Dr. Walter Halaus, DI Dieter Fuchsle**  
ABB Schweiz AG, Zürich

Walter Halaus schloss sein Elektrotechnikstudium an der TU Wien 1997 ab und promovierte 2001 an der ETH Zürich zum Thema Strombegrenzer. Seither ist er bei ABB Schweiz AG in der Entwicklung von Gasisolierten Schaltanlagen tätig, unter anderem als Projektleiter für die Neuentwicklung einer GIS für 1100 kV Nennspannung. Seit 2008 leitet er die GIS Entwicklung bei ABB.



# Mixed Technology Switchgear: Technologie; Anwendung und Trends

Walter Holaus und Dieter Fuchsle  
ABB Schweiz AG, Zürich

## Kurzfassung

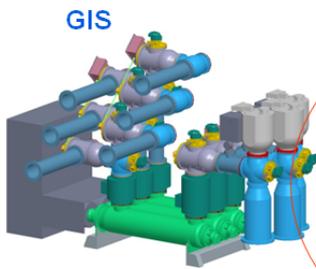
ABB hat "hybride" Schaltgeräte unter dem Produktnamen PASS bereits 1996 eingeführt. Seither haben sich solche Anwendungen unter der allgemeinen Bezeichnung „Mixed Technology Switchgear“ im gesamten Hochspannungsbereich bis 550 kV Nennspannung etabliert. 2009 wurde die erste MTS Schaltanlage für eine Nennspannung von 1100 kV in Betrieb genommen, welche von ABB zusammen mit einem chinesischen Partner entwickelt wurde.

Dieser Vortrag gibt einen Überblick über MTS Anwendungen – Hybride – PASS – DTB – und beschreibt die wesentlichen Eigenschaften im Vergleich zu GIS und AIS Anlagen.

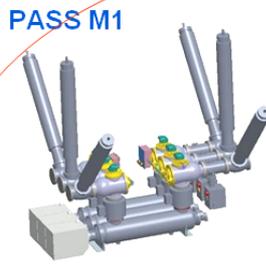
Es werden insbesondere auch spezifische MTS Themen angesprochen, wie z.B. die höheren Anforderungen an das „Bus-Transfer Switching“ von GIS Trennschaltern in MTS Anlagen. Hier ist es nötig, das GIS Trennerdesign an diese Anforderungen anzupassen.

Die Anwendung von Strom- und Spannungssensoren wird für MTS vorgeschlagen, da sich diese platzsparend im gekapselten Teil der Anlagen platzieren lassen.

## GIS – PASS – DTB - AIS



- all voltage levels
- all components encapsuated
- most compact



- mostly > 245 kV
- busbar in air
- common parts with GIS

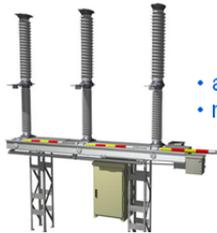


- 72-550 kV
- busbar in air
- no FAES



- all voltage levels
- busbar in air
- no DES
- no FAES

### AIS



- all voltages
- no earthed enclosure

© ABB Switzerland Ltd.  
October 7, 2010 | Slide 3

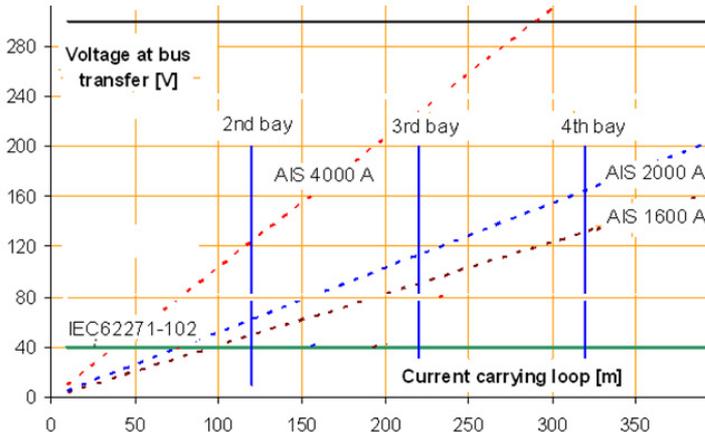
### MTS

ABB

## MTS: Bus-Transfer Switching Schnell-laufender Trennschalter

- Typische Bustransfer Werte (IEC 62271-102)
  - GIS: 1600 A, 40 V (kürzere SS)
  - AIS, MTS: 1600 A, 300 V (lange SS, grössere Impedanz)
- GIS Bustransfer Werte reichen nicht für
  - GIS: sehr grosse Anlagen
  - MTS: mittlere Anlagengrösse

### Abhängigkeit der BT-Spannung von der Schleifenlänge



### Lösung: Schnell-laufender Trennschalter



Bustransfer: 1600 A, 300 V

ABB

## *FKH- / VSE-Fachtagung*

*5. November 2010*

### *Gekapselte gasisolierte Schaltanlagen*

## **Berücksichtigung von Havariekonzepten bei der Definition von Anlagenlayout und Ersatzteilhaltung**

**Dipl.-Ing. FH Sascha Wyss**  
Alpiq Netz AG, Gösgen

Geboren am 18.02.1972 in Olten

1993 - 1996: Studium zum Elektroingenieur, Fachrichtung Energietechnik, FH Burgdorf

1996 - 1998: Berechnungsingenieur und Projektleiter für Stossstrom- und HVDC-Generatoren, Haefely Trench AG, Basel

1998 - 2000: Projektleiter UW-Instandhaltung, -Erweiterungen und -Modernisierungen im Bereich Primärtechnik, Atel Netz AG, Olten

2000 - 2002: Leiter Betriebsgruppe Unterwerke, Atel Netz AG, Olten

2002 - 2008: Gesamt-Projektleiter Key Projects und Projektleiter Leistungstransformatoren, Siemens Schweiz AG, Zürich

Seit 2009: Leiter Primärtechnik Ost, Alpiq Netz AG Gösgen, Niedergösgen



# Berücksichtigung von Havariekonzepten bei der Definition von Anlagenlayout und Ersatzteilhaltung

Sascha Wyss  
Alpiq Netz AG, Gösgen

## Inhalt

- Einleitung
- Erfahrungsbericht Schadensfall 400-kV-UW Asphard
- Massnahmen bei Alpiq
- Zusammenfassung



**Wichtigste Vorteile GIS gegenüber AIS:**

- Geringerer Platzbedarf
- Geringere Unterhaltskosten (Umgebungspflege, Reinigung, etc.)
- Höhere Personensicherheit
- Längere Lebensdauer
- Stabiler gegenüber Erdbeben
- Höhere Verfügbarkeit
- Geringere optische Wahrnehmung

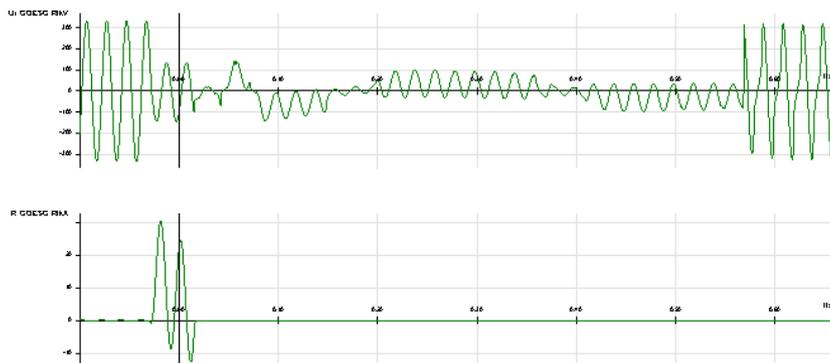
**Nachteile von GIS gegenüber AIS bei Havarien:**

- kleinere Flexibilität im Störungs- und Instandhaltungsfall
- schwierigerer Zugang zu den einzelnen Komponenten
- weniger verbreitetes Instandhaltungs-Know-How
- Herstellerabhängigkeit betreffend Ersatzteilen

## Schadensfall 400-kV Unterwerk Asphard

ALPIQ

## Schadensursache



14. Juli 2009; 21:17:28 Uhr,

erfolgreiche Kurzunterbrechung infolge eines Blitzeinschlages auf  
der Leitung Gösgen-Asphard

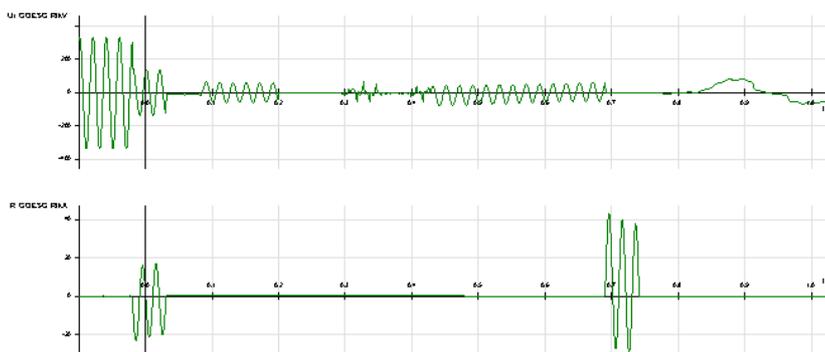
Alpiq Netz AG Gösgen

25.10.2010 4

## Schadensfall 400-kV Unterwerk Asphard

ALPIQ

## Schadensursache



14. Juli 2009; 21:21:29 Uhr

Erneuter Blitzeinschlages auf der Leitung Gösgen-Asphard  
Erfolgreiche Kurz- und Langunterbrechung nach 60 Sekunden  
⇒ Leitung definitiv Aus

Alpiq Netz AG Gösgen

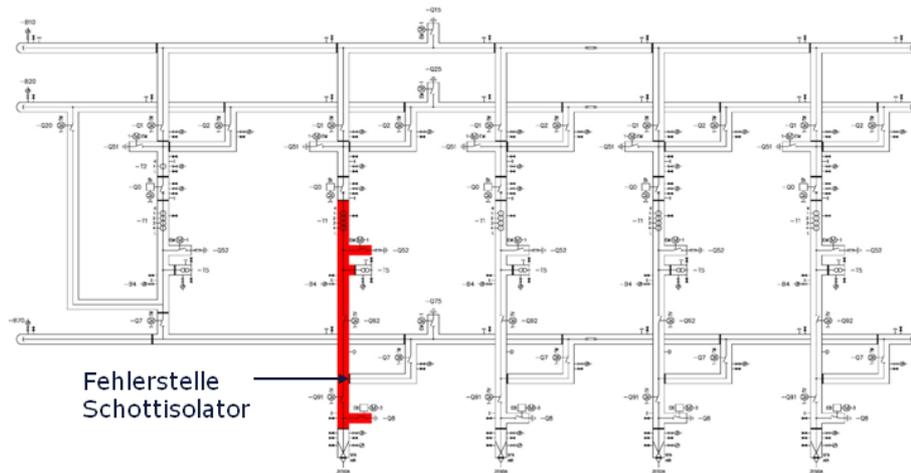
25.10.2010 5

Schadensfall 400-kV Unterwerk Asphard

ALPIQ

Schadensursache

Gasschema 400-kV-Unterwerk Asphard



Alpiq Netz AG Gösigen

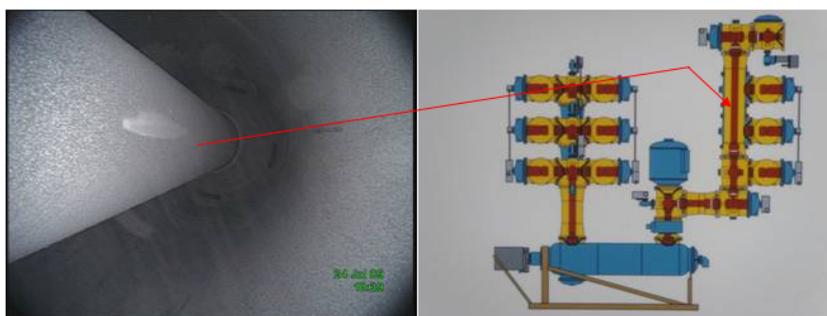
25.10.2010 6

Schadensfall 400-kV Unterwerk Asphard

ALPIQ

Schadensursache

Schadensuntersuchung mit Endoskop



Leiterrohr in Richtung Trenner -Q92.

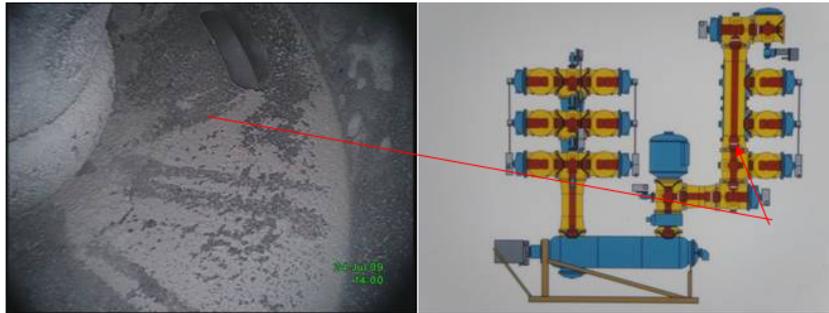
Zersetzungsprodukte deutlich zu erkennen.

Alpiq Netz AG Gösigen

25.10.2010 7

Schadensfall 400-kV Unterwerk Asphard **ALPIQ**  
 Schadensursache

Schadensuntersuchung mit Endoskop



**Stützisolator in Richtung Leiterrohr**  
**Massive Verschmutzung durch Zersetzungsprodukte**

Schadensfall 400-kV Unterwerk Asphard **ALPIQ**  
 Schadensursache

Schadensuntersuchung mit Endoskop



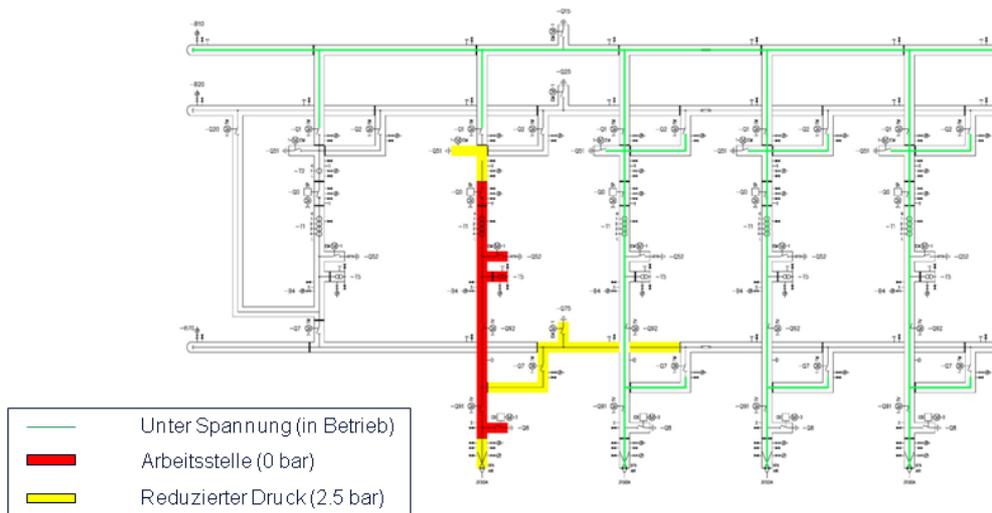
**Schottisolator zu Umgehungsschienen-Trenner -Q7**  
**Starke Brandspuren**

Schadensfall 400-kV Unterwerk Asphard

ALPIQ

Schadensbehebung

Gasschema Schaltzustand Phase 1



Alpiq Netz AG Gösigen

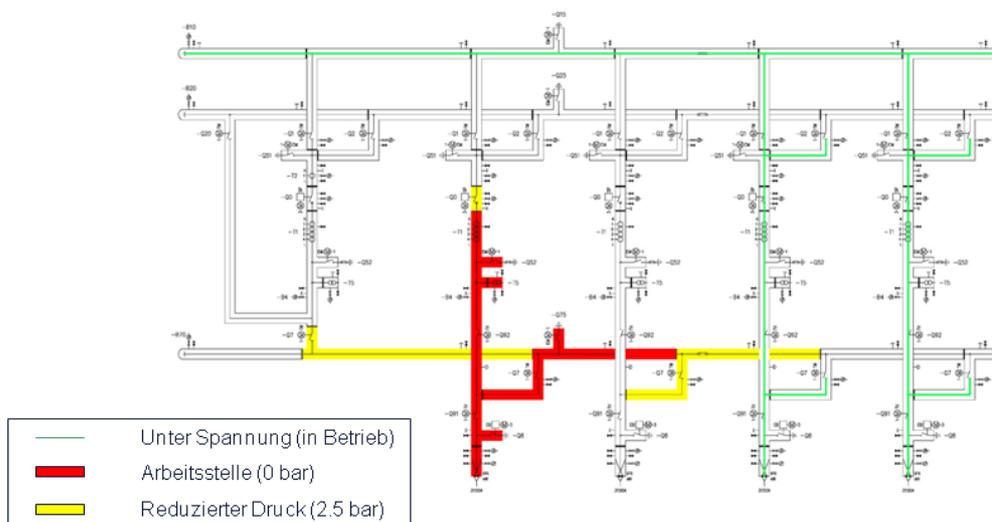
25.10.2010 10

Schadensfall 400-kV Unterwerk Asphard

ALPIQ

Schadensbehebung

Gasschema Schaltzustand Phase 2



Alpiq Netz AG Gösigen

25.10.2010 11



Havariekonzept

ALPIQ

Einleitung

- Reduktion des Risikos einer Havarie
- Einschränkung der Auswirkungen einer Havarie
- Verkürzung der Instandsetzungszeit

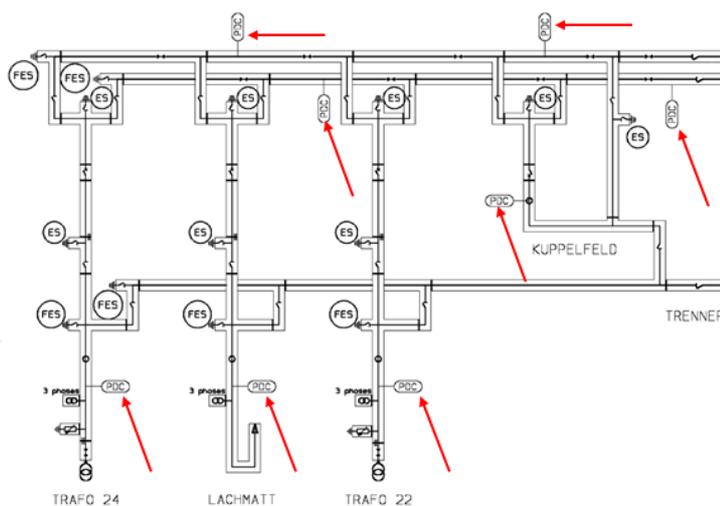
Alpiq Netz AG Gösgen

25.10.2010 14

Havariekonzept

ALPIQ

Reduktion des Risikos einer Havarie

**Beispiel 220-kV-Unterwerk Froloo:****Ausreichende Anzahl fix eingebauter UHF-TE-Sonden.**

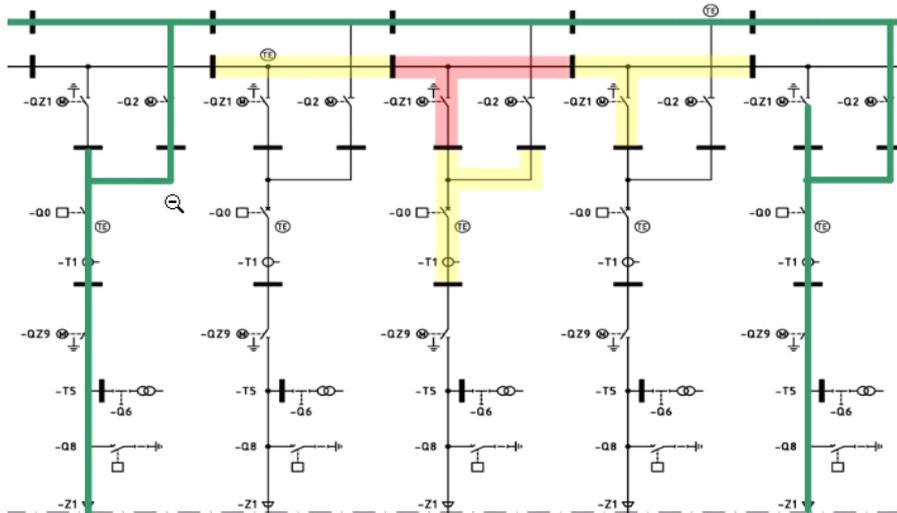
Alpiq Netz AG Gösgen

25.10.2010 15

Havariekonzept

ALPIQ

Einschränkung der Auswirkungen einer Havarie



### Beispiel Auswirkungen auf Nachbarfelder oder SS

Alpiq Netz AG Gösgen

25.10.2010 16

Havariekonzept

ALPIQ

Einschränkung der Auswirkungen einer Havarie

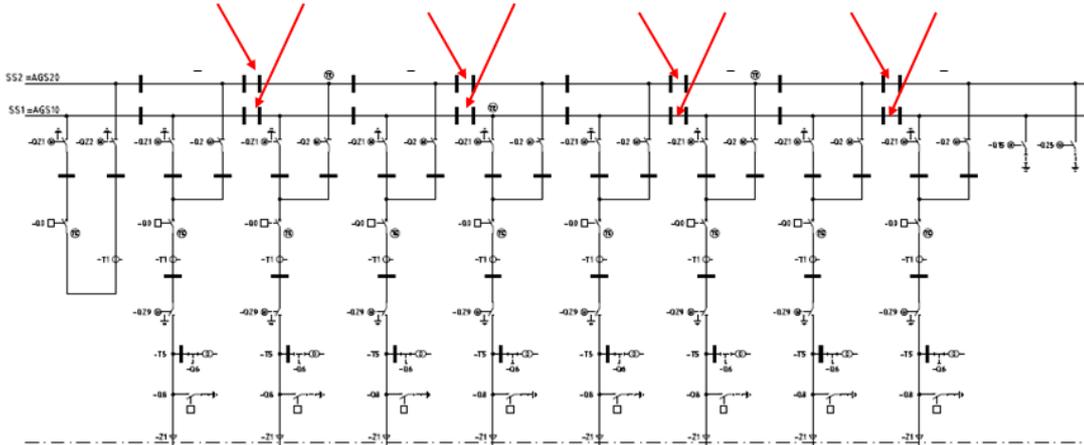
- zusätzliche Gasräume
- Querdemontage-Elemente in Sammelschienen
- zusätzliche Sammelschienen-Trenner

Alpiq Netz AG Gösgen

25.10.2010 17

Havariekonzept  
 Einschränkung der Auswirkungen einer Havarie

**ALPIQ**



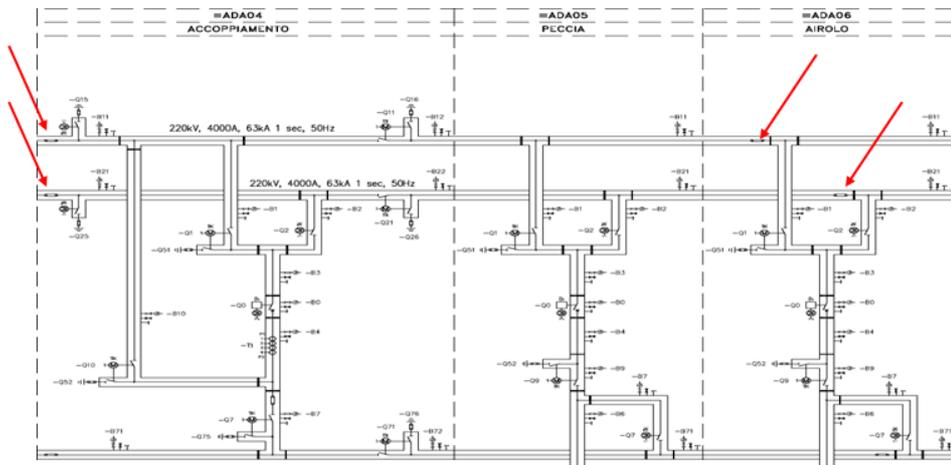
**Beispiel 50-kV-Unterwerk Froloo:**  
**Zusätzliche Gasräume**

Alpiq Netz AG Gösgen

25.10.2010 18

Havariekonzept  
 Einschränkung der Auswirkungen einer Havarie

**ALPIQ**



**Beispiel 220-kV-Unterwerk Lavorgo:**  
**Querdemontage-Elemente in den Sammelschienen**

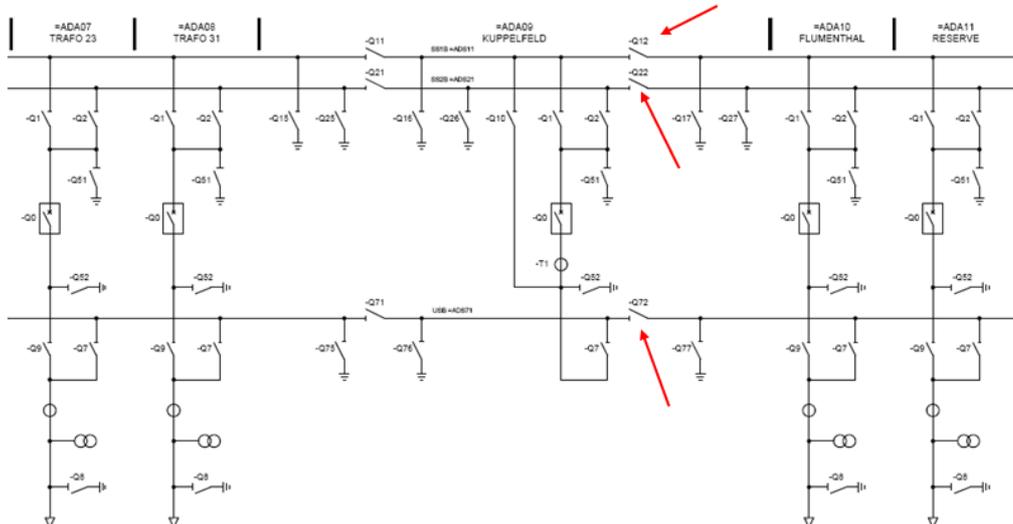
Alpiq Netz AG Gösgen

25.10.2010 19

Havariekonzept



Einschränkung der Auswirkungen einer Havarie



**Beispiel 220-kV-Unterwerk Gösgen:  
 Zusätzliche Trenner in den Sammelschienen**

Alpiq Netz AG Gösgen

25.10.2010 20

Havariekonzept



Verkürzung Instandsetzungszeit

- verfügbare Ersatzteile
- Erfahrenes GIS-Montagepersonal
- Adäquater Gerätepark und Spezialwerkzeuge

Alpiq Netz AG Gösgen

25.10.2010 21

## Havariekonzept

ALPIQ

## Forderungen an die Lieferanten

- **Beschreibung der Instandsetzung nach inneren Fehlern unter der Annahme, dass jeder Schottisolator des betroffenen Gasraumes ersetzt werden muss.**
- **Jeder Havariefall kann mit den definierten Ersatzteilen abgedeckt werden.**
- **Verifizierung, dass bei keinem Einzelfehler die ganze Schaltanlage ausser Betrieb genommen werden muss.**
- **Angabe der Gas-Vakuumier-, Reparatur- und Gasfüllzeiten für die einzelnen Havariefälle**

## Havariekonzept

ALPIQ

## Zusammenfassung

**Reduktion des Risikos einer Havarie**

- Werks- und Vorort-Prüfung mit TE-Messung
- Einbau von UHF-Sensoren ausreichender Anzahl

**Einschränkung der Auswirkungen von Havarien**

- Zusätzliche Gasräume
- Querdemontage-Elemente in Sammelschienen
- Zusätzliche Sammelschienen-Trenner

**Verkürzung Instandsetzungszeit**

- Verfügbare Ersatzteile entsprechend dem Havariekonzept
- Ausgebildetes GIS-Montagepersonal
- Adäquater Gerätepark und Spezialwerkzeuge

## *FKH- / VSE-Fachtagung*

*5. November 2010*

### *Gekapselte gasisolierte Schaltanlagen*

## **Qualitätssicherung während der Designphase und Produktion von GIS-Anlagen**

**Dipl. El.-Ing. ETH David Gautschi**  
AREVA T&D AG, Oberentfelden

David Gautschi wurde 1976 in Menziken AG geboren. Im Jahre 2002 schloss er sein Elektrotechnikstudium an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (Vertiefungsrichtungen Hochspannungs- und Hochfrequenztechnik) und 2003 sein Nachdiplomstudium in Didaktik ab. Zwischen 2002 und 2007 war er als Projektleiter bei der Firma maxwave (Zürich) im Bereich der Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) tätig, wobei er sich 2004/2005 während einem einjährigen Einsatz in Madagaskar mit dem Aufbau einer Radiostation beschäftigte. 2007 wechselte er zur Firma AREVA T&D AG nach Oberentfelden in die Entwicklung von gasisolierten SF6-Schaltanlagen. Seit Januar 2008 ist er dort Leiter des Hochspannungslabors und einer Entwicklergruppe mit Themenschwerpunkt Simulation.

David Gautschi ist Mitglied verschiedener Technischer Komitees der IEC (TK 28 – Isolationskoordination, TC 37 – Ableiter, TC42 – Hochspannungstechnik) und Mitarbeiter in verschiedenen Cigré Arbeitsgruppen.



# Qualitätssicherung während der Designphase und Produktion von GIS-Anlagen

David Gautschi

AREVA T&D AG, Oberentfelden

## Kurzfassung

Der Vortrag zeigt die Anforderungen von Kunden- und Normenseite die an eine GIS-Komponente gestellt werden und welche Prüfungen durchgeführt werden müssen um höchsten Qualitätssicherungsansprüchen gerecht zu werden. Insbesondere werden folgende Punkte beleuchtet:

- Generelle Anforderungen an GIS-Komponenten
- Anforderungen der aktuellen Normen
- Beispiele aus der Entwicklung
- Erweiterte Anforderungen von Kunden und Herstellern
- Einsatz von Simulationstools
- Alterungsverhalten von GIS-Anlagen
- Fehlerstatistiken von AREVA-GIS-Anlagen

FKH-Fachtagung, Gekapselte gasisolierte Schaltanlagen (GIS)

## Qualitätssicherung während der Design- phase und Produktion von GIS-Anlagen

David Gautschi  
05/11/2010

GRID

**ALSTOM**

### Inhalt

Einführung	Seite 2
Forderungen der Normen	Seite 6
Erweiterte Anforderungen	Seite 20
Einsatz von Simulationstools	Seite 22
Zusammenfassung	Seite 27

## Einführung

## Eine GIS-Anlage muss

- betriebssicher sein und störungsfrei arbeiten
- eine Lebenserwartung > 40 Jahre haben (LCC)
- geringer Unterhalts- und Wartungsaufwand aufweisen (LCC, MRE)
- geringer Aufwand bei Reparatur benötigen (LCC, MRE)
- mit einfachen Mitteln erweiterbar sein (MRE)
- kompakt sein (geringes SF6-Volumen, kleine Standfläche, Transport)
- im Werk einen hohen Integrations- und Prüfgrad bieten
- eine schnelle Montage vor Ort ermöglichen
- umweltfreundliche Materialien verwenden (Eco-Design)
- niedrige Verluste, geringe Magnetfelder und Lärmemissionen aufweisen

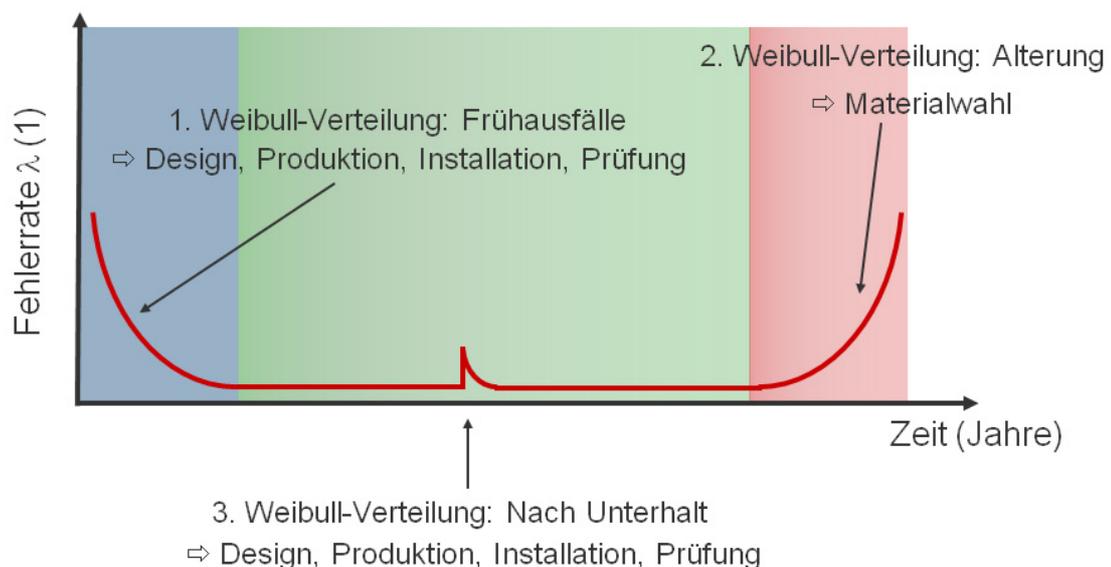
LCC: Life Cycle Cost (Lebenszykluskosten)  
MRE: Maintenance, Repair and Extension

FKH-Fachtagung, GIS - 05.11.2010 - P. 3

GRID | **ALSTOM**

## Einführung

## Ausfallwahrscheinlichkeiten



FKH-Fachtagung, GIS - 05.11.2010 - P. 4

GRID | **ALSTOM**

## Einführung

Aus diesem Grund fordern Hersteller, Kunden und Normen Prüfungen und Qualitätssicherungsinstrumente während dem Design, der Produktion, Inbetriebsetzung und Betrieb.

### Qualitätssicherungsinstrumente

- Typprüfungen und Berechnungen (T)
- Routineprüfungen (Stückprüfungen) (R)
- Vor-Ort Prüfungen (Inbetriebsetzung, während dem Betrieb) (V)

## Forderungen der Normen

Einführung	Seite 2
<b>Forderungen der Normen</b>	<b>Seite 6</b>
Erweiterte Anforderungen	Seite 20
Einsatz von Simulationstools	Seite 22
Zusammenfassung	Seite 27

## Forderungen der Normen

### Die wichtigsten Normenreferenzen

#### Schaltanlage

IEC 62271-1: High-voltage switchgear and controlgear – Part 1: Common specifications

IEC 62271-203: High-voltage switchgear and controlgear – Part 203: Gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages above 52 kV

#### Schalter und Trenner

IEC 62271-100: High-voltage switchgear and controlgear – Part 100: Alternating-current circuit-breakers

IEC 62271-102: High-voltage switchgear and controlgear – Part 102: High-voltage alternating current disconnectors and earthing switches

IEC 62271-108: High-voltage switchgear and controlgear – Part 108: High-voltage alternating current disconnecting circuit-breakers for rated voltages of 72,5 kV and above

FKH-Fachtagung, GIS – 05.11.2010 – P. 7

GRID | **ALSTOM**

## Forderungen der Normen

### Die wichtigsten Normenreferenzen

#### Messwandler

IEC 60044: Instrument transformers - Part 1: Current transformers, Part 2: Inductive voltage transformers, Part 3: Combined transformers, Part 5: Capacitor voltage transformers, Part 6: Requirements for protective current transformers for transient performance, Part 7: Electronic voltage transformers, Part 8 Electronic current transformers

#### Ableiter

IEC 60099-4: Surge arresters – Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems

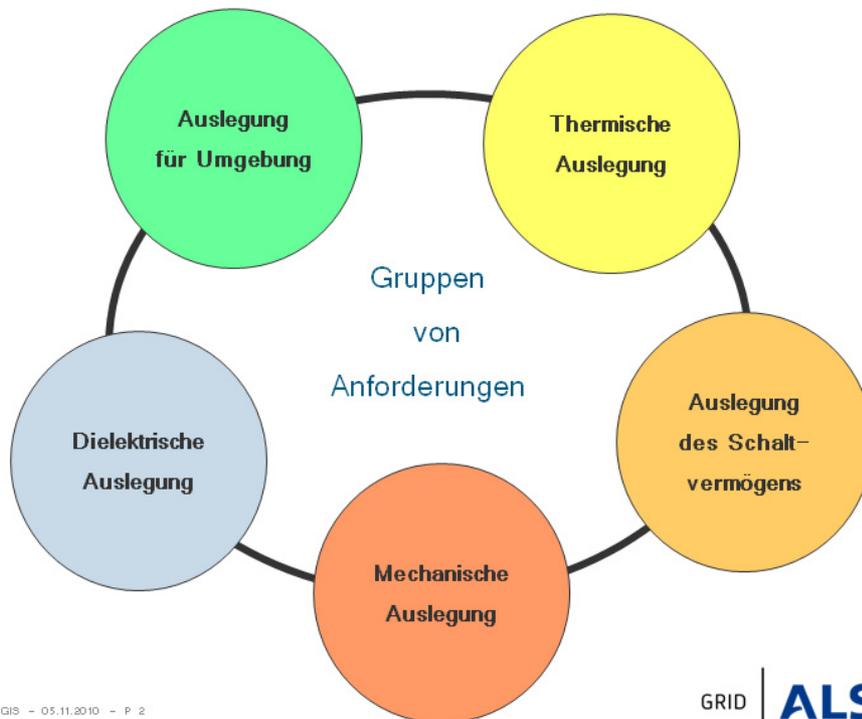
#### Durchführungen

IEC 60137: Insulated bushings for alternating voltages above 1000 V

FKH-Fachtagung, GIS – 05.11.2010 – P. 8

GRID | **ALSTOM**

## Forderungen der Normen



FKH-Fachtagung, GIS - 05.11.2010 - P. 2

GRID | **ALSTOM**

## Forderungen der Normen

### Wichtige Prüfungen – Dielektrische Auslegung

- Stehwechselfspannungsprüfung (T, R, V)
- Blitzstossprüfung (T)
- Schaltstossprüfung (nur  $U_r > 245$  kV) (T)
- Kombinierte diel. Prüfungen (BIAS) (T)
- Teilentladungsprüfung (T, R, (V))
- AC-Prüfungen von isolierten Erdern (T, R)
- Spannungsprüfung von Sekundärkreisen (T, R)
- EMV-Prüfungen von Wandlern (T)
- Auskopplung von schnellen Transienten beim Trennerschalten (T)
- Schritt- und Berührungsspannungen (T)

FKH-Fachtagung, GIS - 05.11.2010 - P. 10

GRID | **ALSTOM**

## Forderungen der Normen

### Wichtige Prüfungen – Auslegung Schaltvermögen

- Ausschalten von Klemmen- und Abstandskurzschluss (CB) (T)
- Einschalten auf Phasenopposition (CB) (T)
- Schalten von induktiven Strömen (CB) (T)
- Schalten von kapazitive Strömen (CB) (T)
- Einschalten auf Kurzschluss (ES) (T)
- Kommutierung (DS) (T)

CB: Circuit breaker (Leistungsschalter)  
DS: Disconnecter switch (Trenner)  
ES: Earthing switch (Erder)

FKH-Fachtagung, GIS – 05.11.2010 – P. 11

GRID | **ALSTOM**

## Forderungen der Normen

### Wichtige Prüfungen – Mechanische Auslegung

- Kurzzeitstrom- und Stossstromprüfung (T)
- Störlichtbogenprüfung (T)
- Berstprüfung von Gehäusen und Isolatoren (T, R)
- Dichtigkeitsprüfung von Gehäusen und Isolatoren (T, R)
- Mechanische Funktionsprüfungen (inkl. an Temperaturgrenzen) (T, R)
- Nachweis der kinematischen Ketten (T)
- Mechanische Dauerläufe (Lebensdauer) (T)

FKH-Fachtagung, GIS – 05.11.2010 – P. 12

GRID | **ALSTOM**

## Forderungen der Normen

### Wichtige Prüfungen – Thermische Auslegung

- Kurzzeitstrom- und Stossstromprüfungen inkl. Erdungssystem (T)
- Erwärmungsprüfungen (T)
- Derating infolge Sonneneinstrahlung/Umgebungstemperatur (T)
- Anlagedilatation infolge Erwärmung (T)
- Thermische Stabilität von Isolationsmaterialien (T)

## Forderungen der Normen

### Wichtige Prüfungen – Auslegung Umgebung

- Schallpegelmessungen beim Schalten (T)
- IP-Prüfungen (T)
- Erdbebenprüfungen (T)
- Regenprüfungen (T)
- Salzsprühnebeltests (T)
- Klimaversuche (T)
- Wind- und Schneelast/Vereisung (T)
- Derating infolge Sonneneinstrahlung/Umgebungstemperatur (T)

Forderungen der Normen

Mechanischer Dauerlauf



FKH-Fachtagung, GIS - 05.11.2010 - P 15

GRID | **ALSTOM**

Forderungen der Normen

Mechanischer Dauerlauf



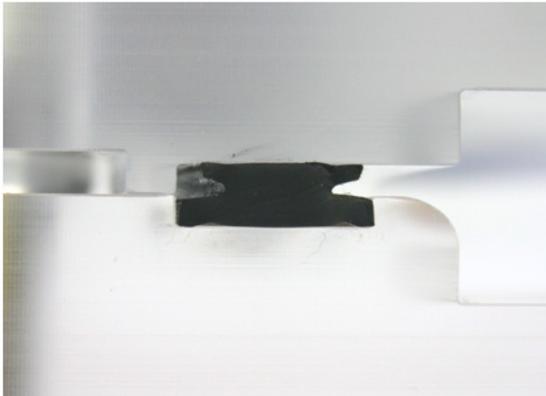
Leistungsschalter-Kontakte nach 10000 CO (class M2)

FKH-Fachtagung, GIS - 05.11.2010 - P 16

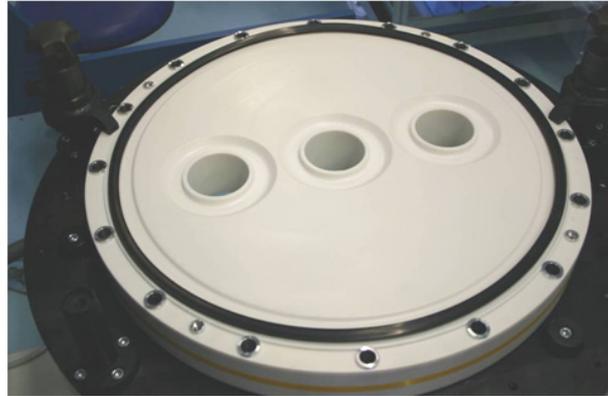
GRID | **ALSTOM**

## Forderungen der Normen

### Dichtungssystem



Dichtungsquerschnitt



Dichtungseinbauort Isolator

Leckrate < 0.1% / Jahr (IEC < 0.5%)

FKH-Fachtagung, GIS - 05.11.2010 - P. 17

GRID

**ALSTOM**

## Forderungen der Normen

### Dichtigkeitsprüfung im Werk



Integrale Prüfung der kompletten GIS Felder

FKH-Fachtagung, GIS - 05.11.2010 - P. 18

GRID

**ALSTOM**

# Forderungen der Normen

## Störlichtbogen / Druckentlastung



Einbau in Stahlkessel



Initialisierung Erdschluss

FKH-Fachtagung, GIS - 05.11.2010 - P. 19

# Erweiterte Anforderungen

Einführung	Seite 2
Forderungen der Normen	Seite 6
<b>Erweiterte Anforderungen</b>	<b>Seite 20</b>
Einsatz von Simulationstools	Seite 22
Zusammenfassung	Seite 27

FKH-Fachtagung, GIS - 05.11.2010 - P. 20

## Erweiterte Anforderungen

- Schaltstossprüfung (für  $U_r < 245$  kV) (T)
- Dielektrische Druckkennlinien (T)
- Dielektrische Null-Bar-Versuche (T)
- Dielektrische Grenzen bei Nenndruck (T)
- Statische Kennlinien von Trennern (T)
- Langzeitprüfungen von Isolierteilen und Komponenten (T)
- Überstrom-Zeitverhalten (T)
- Nennstromfestigkeit Erderkontakte (T)
- Dimensionierung Gebäudeklimaanlage infolge Abwärme (T, R)
- Dimensionierung Druckentlastungsklappen im Gebäude (R)
- Magnetfeldberechnungen und Messungen (NISV) (T)

FKH-Fachtagung, GIS - 05.11.2010 - P. 21

GRID

ALSTOM

## Einsatz von Simulationstools

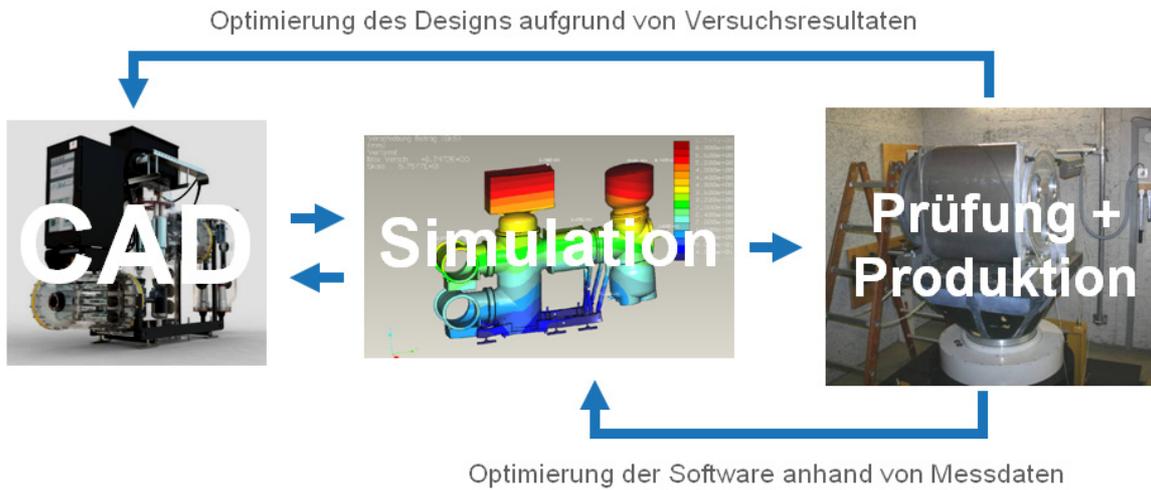
Einführung	Seite 2
Forderungen der Normen	Seite 6
Erweiterte Anforderungen	Seite 20
Einsatz von Simulationstools	Seite 22
Zusammenfassung	Seite 27

FKH-Fachtagung, GIS - 05.11.2010 - P. 22

GRID

ALSTOM

# Einsatz von Simulationstools



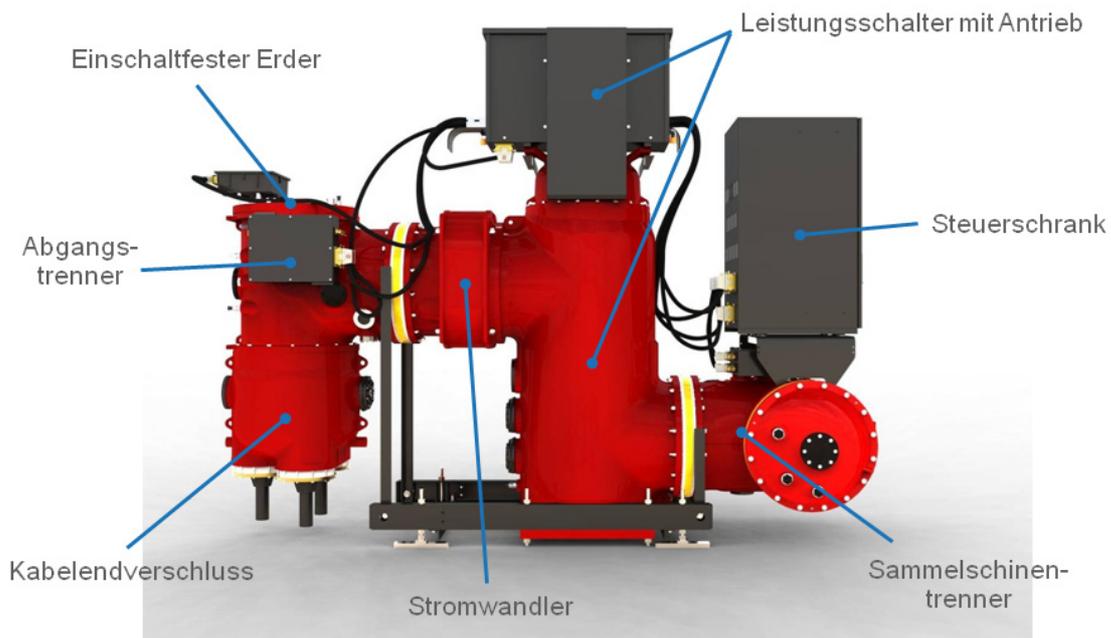
## Einsatz von Simulationstools

- Schnellere Entwicklungszeiten
- Kostenersparnis
- Bessere Materialausnutzung

FKH-Fachtagung, GIS - 05.11.2010 - P. 23



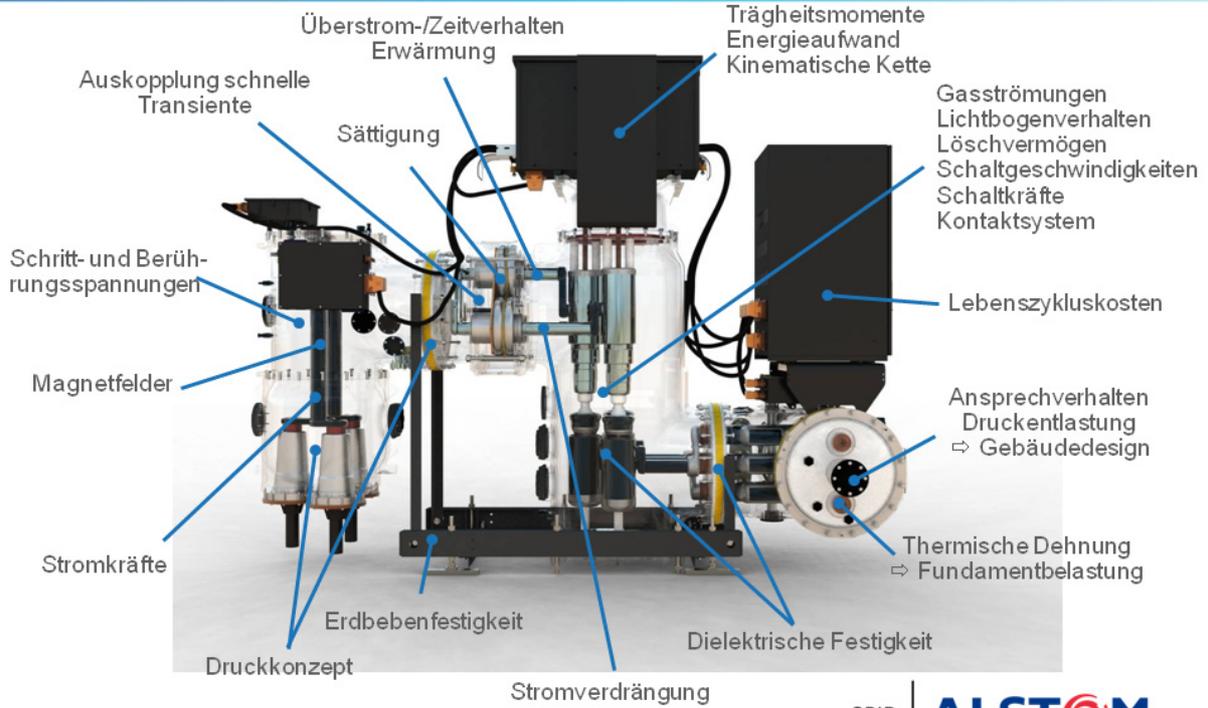
# Einsatz von Simulationstools



FKH-Fachtagung, GIS - 05.11.2010 - P. 24

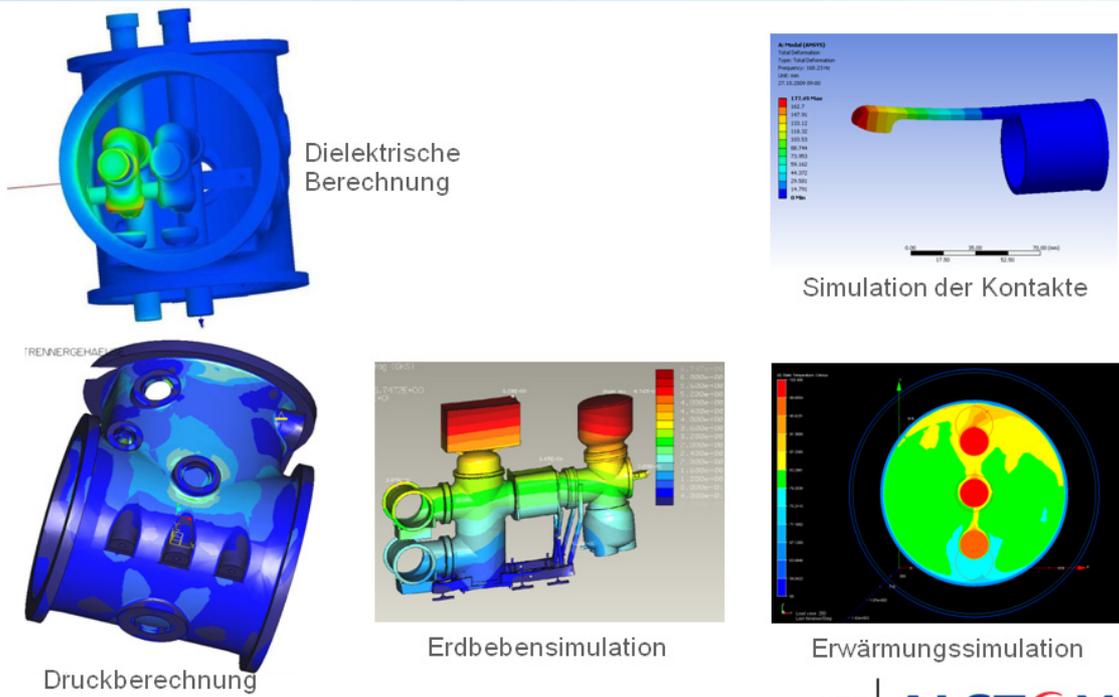


# Einsatz von Simulationstools



FKH-Fachtagung, GIS - 05.11.2010 - P. 25

# Einsatz von Simulationstools



FKH-Fachtagung, GIS - 05.11.2010 - P. 26

## Zusammenfassung

Einführung	Seite 2
Forderungen der Normen	Seite 6
Erweiterte Anforderungen	Seite 20
Einsatz von Simulationstools	Seite 22
Zusammenfassung	Seite 27

## Zusammenfassung

Typ- und Routineprüfungen haben zum Ziel dass GIS-Anlagen über die ganze Lebensdauer zuverlässig und betriebssicher arbeiten.

Zusätzliche Vorortprüfungen bei der Inbetriebsetzung der Anlage können eine ergänzende Qualitätssicherung der werkgeprüften Komponenten bilden.

Die Nähe der Entwicklung zu zertifizierten Prüfstellen und zur Produktion sind wichtige Aspekte um die Nachhaltigkeit und Qualität der GIS Anlage langfristig zu sichern.

## Zusammenfassung

Qualitätsbewusstsein widerspiegelt sich  
in den tiefen Fehlerraten.

Beispiel Anlagentyp B65: Seit 1999 im Angebot

**2 majour failure (ohne Bedienungsfehler) in  
5170 Feldbetriebsjahren**

da Fehler in unterschiedlichen Komponenten

$$\Rightarrow \lambda_{\text{component}} < \frac{1}{5170} \approx 0.02 \text{ pro } 100 \text{ Feldbetriebsjahre}$$

## ***FKH - / VSE – Fachtagung***

*5. November 2010*

### ***Gekapselte gasisolierte Schaltanlagen***

## **Hochspannungs-Abnahmeprüfungen an GIS vor Ort**

### **Dr. Stefan Neuhold**

Fachkommission für Hochspannungsfragen (FKH)  
Voltastrasse 9, 8044 Zürich

1993 Abschluss des Diplomstudiums an der ETH Zürich  
1993 – 1998 ABB Hochspannungstechnik AG; GIS  
ab 1994 Leiter Hochspannungsprüfungen GIS (Werk und vor Ort)  
1998 – 2001 FKH Projektleiter Hochspannungsprüfungen  
2001 – 2006 ETH Assistent am Institut für Hochspannungstechnik; Dissertation  
Seit 2006 FKH Projektleiter Hochspannungsprüfung; Fachspezialist GIS

Mitglied der CIGRE WG 1.25: Application Guide for PD Detection in GIS using UHF Method



# Hochspannungs-Abnahmeprüfungen an GIS vor Ort

Stefan Neuhold

Fachkommission für Hochspannungsfragen (FKH)  
Voltastrasse 9, 8044 Zürich

## 1. Kurzfassung

Die Hochspannungs-Abnahmeprüfung vor Ort bildet den Abschluss einer konsequenten Qualitätssicherung für eine Anlage mit dem Anspruch auf sehr hohe Zuverlässigkeit und einer Lebensdauer von über 40 Jahren. Durch den Transport und die Montage vor Ort einer GIS besteht die Möglichkeit der Beschädigung sowie des Einbringens von Partikeln, welche die dielektrische Festigkeit der Anlage reduzieren können. Von den durch die IEC empfohlenen Prüfmethoden hat sich die Stehwechselfeldspannungsprüfung mit begleitender UHF-TE-Messung durchgesetzt. Eine weitere Erhöhung der Prüfqualität lässt sich durch die integrale Prüfung erreichen, welche das Öffnen der GIS nach der Hochspannungsprüfung vermeidet und Spannungswandler sowie nach Möglichkeit Schnittstellen zur GIS miteinbezieht. Bei der TE-Messung gilt es mit einer möglichst hohen Empfindlichkeit zu messen, da es keine direkte Korrelation zwischen TE-Pegel und Durchschlagsspannung beim Defekt für irgendeine Diagnosemethode gibt. Die UHF-Methode zeichnet sich durch eine hohe Störfestigkeit aus sowie eine hohe Empfindlichkeit für freie Partikel – den häufigsten Fehlertyp. Durch die visuelle Selektion von Messfrequenzen lässt sich bei der UHF-Schmalbandmessung mit variabler Messfrequenz in der Regel eine höhere Messempfindlichkeit erreichen als bei breitbandiger bzw. schmalbandiger UHF-Methode mit fixen Messfrequenzen. Da überdies standardisierte Messtechnik und Signalverarbeitung verwendet wird, ist die Reproduzierbarkeit auch in 40 Jahren noch gegeben. Die Erfahrungen aus vor-Ort-Prüfungen von Neu- und Altanlagen führen zur Empfehlung in Neuanlagen UHF-TE-Sensoren konsequent und in genügender Anzahl einzubauen. Die Basis für effiziente Prüfungen mit einem hohen Qualitätsstandard beruht auf der jahrzehntelangen Erfahrung in der Entwicklung von Messtechnik, der Anwendung von Messmethoden sowie auf der systematischen Vorgehensweise bei Ereignissen. Der Trend bei Hochspannungs-Abnahmeprüfungen vor Ort weist in Richtung TE-Messung bei immer tieferen Spannungsebenen. Dies zeigt, dass die Möglichkeit zusätzliche Fehler zu eliminieren sowie der Gewinn an Informationen über die dielektrische Integrität weit höher eingeschätzt werden als die geringen Mehrkosten einer TE-Messung.

# Hochspannungs-Abnahmeprüfungen an GIS vor Ort

Dr. Stefan Neuhold  
FKH

FKH- / VSE- Fachtagung 2010, 5. November 2010  
„Gekapselte gasisolierte Schaltanlagen“

## HS-Abnahmeprüfungen an GIS vor Ort

## Inhalt

- Motivation
- Prüfmethoden
- Integrale Prüfung
- TE-Messung
  - Techniken
  - Messempfindlichkeit
  - Signalausbreitung
  - UHF-Messverfahren
- TE-Messungen an betriebsgealterten Anlagen
- Prüferfahrung
- Zusammenfassung und Ausblick

## HS-Abnahmeprüfungen an GIS vor Ort

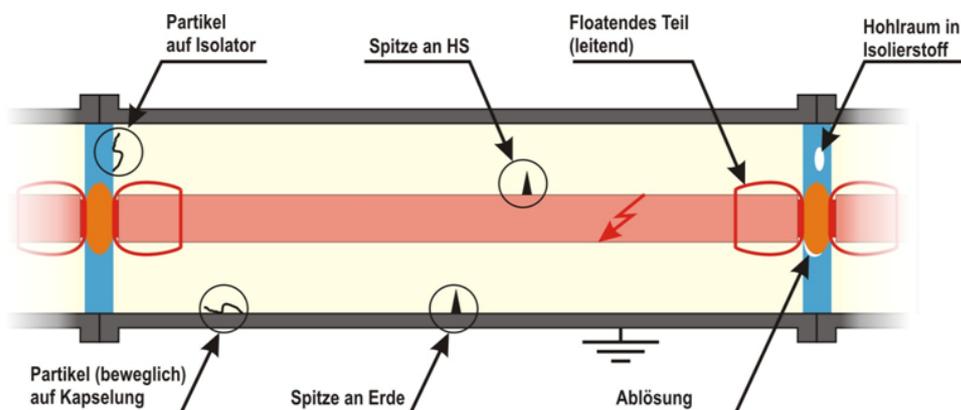
## Motivation

- GIS bildet Netzknoten (hohe Verfügbarkeit notwendig)
- Geplante Nutzungsdauer > 40 Jahre
- GIS aufgebaut aus Transporteinheiten
- Mögliche Beschädigung / Einbringen von Schmutz bei
  - Transport
  - Montage

➔ HS-Abnahmeprüfung bildet den Abschluss einer konsequenten Qualitätssicherung

### HS-Abnahmeprüfungen an GIS vor Ort

## Fehlertypen



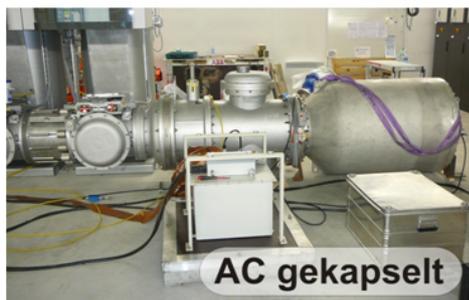
### HS-Abnahmeprüfungen an GIS vor Ort

## Prüfmethoden – IEC 62271-203 (2003)

- Alle Teile einer Anlage sollen geprüft werden (Komponenten, Transporteinheiten, ganze Anlage)
- Werk:
  - Stehwechselfspannungsprüfung (AC) (1min.) gefolgt von TE-Messung (keine Angabe über Dauer der Beanspruchung)
  - Anforderung: TE < 5pC (je nach Norm < 10pC für einzelne Komponenten)
- Vor Ort:
  - Jeder neu installierte Teil einer GIS soll geprüft werden
  - Prozedur **A** (empfohlen für  $\leq 170$  kV): Nur AC-Prüfung
  - Prozedur **B** (empfohlen für  $\geq 245$  kV): AC-Prüfung und TE-Messung
  - Prozedur **C** (Alternative zu B): AC-Prüfung und Stossspannungsprüfung

### HS-Abnahmeprüfungen an GIS vor Ort

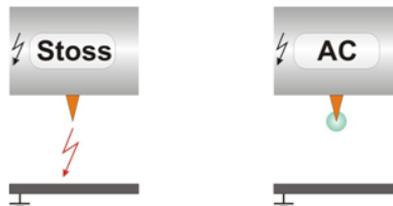
## Prüfmethoden vor Ort



### HS-Abnahmeprüfungen an GIS vor Ort

## AC / Stoss / TE-Messung vor Ort

Mit der Wechsellspannungsprüfung allein ist es nicht möglich alle kritischen Defekte durch einen Durchschlag zu detektieren.  
(z.B. Spitzen an Elektroden, Partikel auf Isolierstoff)



Diese Defekte werden durch eine Blitzstoss-Prüfung detektiert.

- Soll die Blitzstoss-Prüfung durch eine TE-Messung ersetzt werden so muss diese eine sehr hohe Empfindlichkeit aufweisen.

Heutige Praxis: Stehwechsellspannungsprüfung mit begleitender UHF-TE-Messung (vereinzelt auch konventionelle TE-Messung nach IEC).

### HS-Abnahmeprüfungen an GIS vor Ort

## Schnittstellen - Integrale Prüfung

- **Nicht ideale Situation (nicht alle Teile der GIS geprüft):**
  - Spannungswandler werden nicht mitgeprüft ( $f < 80\text{Hz} / 50\text{Hz}$  Testset)
  - Öffnen von Gasräumen nach HS-Prüfung:
    - GIS Kabelendverschluss (konventionell); Prüfung bis Link / Trenner
    - Sammelschiene (Prüfadapter)
    - Spannungswandler (nach HS-Prüfung aufgesetzt)
- **Ideale Situation (Integrale Prüfung – alle Teile der GIS geprüft):**
  - Spannungswandler werden mitgeprüft ( $f > 80\text{Hz}$  (RTS) bzw. spezifisch für tiefere Frequenzen ausgelegt)
  - Kein Öffnen der GIS nach der HS-Prüfung:
    - Steckbare Kabelendverschlüsse; Verwendung von Blindstopfen
    - Einspeisung HS via Freiluft-Abgang / steckbares Prüfkabel
    - Prüfung der Kabel (- Schnittstellen) im eingesteckten Zustand (lange Kabel / tiefe Frequenzen => Wandler auslegen / abtrennen)

### HS-Abnahmeprüfungen an GIS vor Ort

## Schnittstellen - Integrale Prüfung (II)



Vorhandener Freiluftabgang



Prüfadapter (Kabelstecker)

Kabelprüfung via Prüfmuffe  
(Kabelstecker)

### HS-Abnahmeprüfungen an GIS vor Ort

## TE Messung

- Es gibt keine direkte Korrelation zwischen TE-Pegel und der Durchschlagsspannung des Defekts bei irgendeiner Diagnosemethode
- Charakterisierung der TE:
  - TE mit möglichst hoher Empfindlichkeit zu messen (klare Darstellung)
  - Identifizieren (Zuordnung zu einem Fehlertyp)
  - Ausschluss einer externen Quelle
  - Ein- und Aussetzspannungen bestimmen
  - Zeitliches Verhalten bestimmen (kontinuierlich, sporadisch, ...)
  - Lokalisieren der TE-Quelle
- Beurteilung und Massnahmen:
  - In Neuanlagen wird die TE-Quelle üblicherweise entfernt
  - In Altanlagen wird eine Risikoabschätzung gemacht und je nach Ergebnis Massnahmen getroffen

### HS-Abnahmeprüfungen an GIS vor Ort

## Empfindlichkeit TE-Messung

- 3 hauptsächliche Methoden für GIS:
  - Konventionelle Methode (IEC 60270); 50 – 500 kHz ... 1 MHz
  - Akustische Methode 10 kHz ... > 100 kHz
  - UHF-Methode 0.1 ... 2 GHz ( 3m .. 0.15m Wellenlänge)
- Messempfindlichkeit:
  - Optimale Bedingungen: < 1pC (alle 3 Methoden)
  - Abhängig von:
    - Umgebungsstörpegel
    - Fehlertyp
    - Signalpfad zwischen Fehler und TE-Signalauskopplung
  - Konventionell: Stark abhängig vom Umgebungsstörpegel / Schirmung
  - Akustisch: Stark abhängig von Signalpfad, kurze Reichweite
  - UHF: Unempfindlich gegen externe Störungen  
Detektiert mit hoher Empfindlichkeit freie Partikel  
(häufigster Fehlertyp)

### HS-Abnahmeprüfungen an GIS vor Ort

## Eignung der 3 häufigsten Techniken

- Konventionelle Methode
  - ( + ) Gekapselter Aufbau inkl. Testset => zumeist hohe Empfindlichkeit
  - ( + ) Kalibration möglich
  - ( - ) Offener Aufbau => in der Regel ungenügende Empfindlichkeit
  - ( - ) GIS muss nach der Prüfung wieder geöffnet werden
  - ( - ) wird nach der Prüfung wieder abgebaut (Msg. Im Betrieb / Schnittstellen)
  - ( - ) Ortung schwieriger als bei UHF-Methode
- UHF-Methode
  - ( + ) Robust gegen Störungen, da selektiv zwischen den Störfrequenzen gemessen werden kann
  - ( + ) Hohe Messempfindlichkeit (für die häufigsten Fehler)
  - ( + ) Standard-Methode für TE-Messungen vor Ort an GIS**
  - ( - ) Nicht kalibrierbar
  - ( - ) Misst bestimmte Defekte mit geringer Empfindlichkeit

### HS-Abnahmeprüfungen an GIS vor Ort

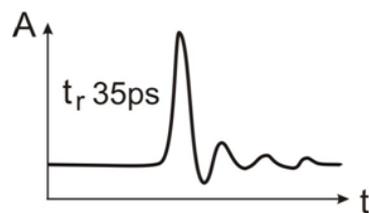
## Eignung der 3 häufigsten Techniken II

- Akustische Methode

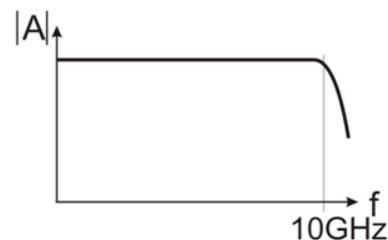
- ( + ) Wird im allgemeinen begleitend verwendet zur Lokalisierung
- ( - ) Nur sehr lokaler Messbereich (ca. 1/- 1m) für ganz bestimmte Defekte
- ( - ) Wird sehr selten für Abnahmeprüfungen als Kriterium verwendet

### HS-Abnahmeprüfungen an GIS vor Ort

## Elektrische TE-Signale in GIS



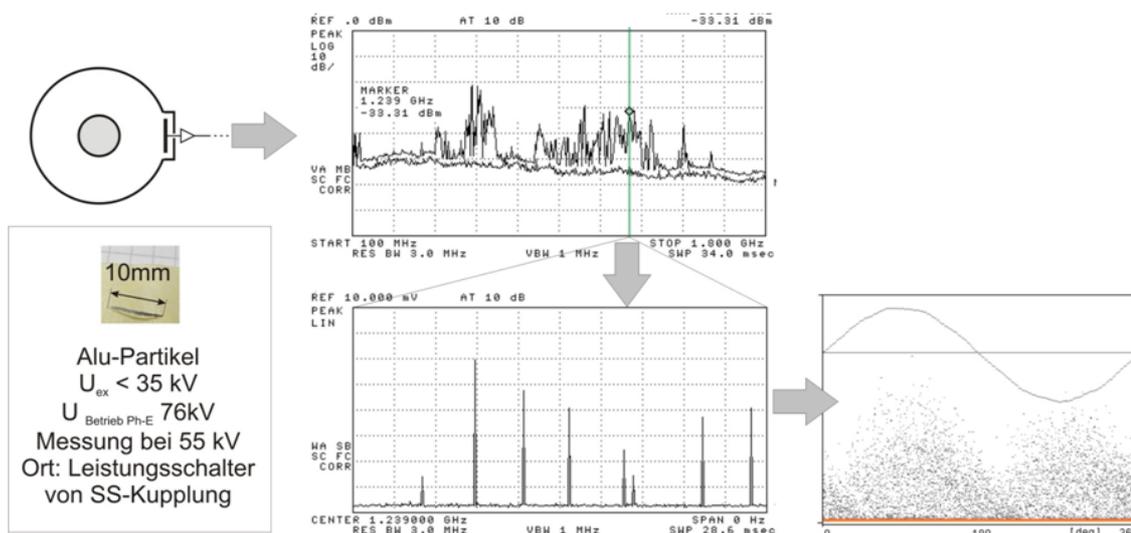
Zeitsignal



Amplitudendichte-Spektrum

### HS-Abnahmeprüfungen an GIS vor Ort

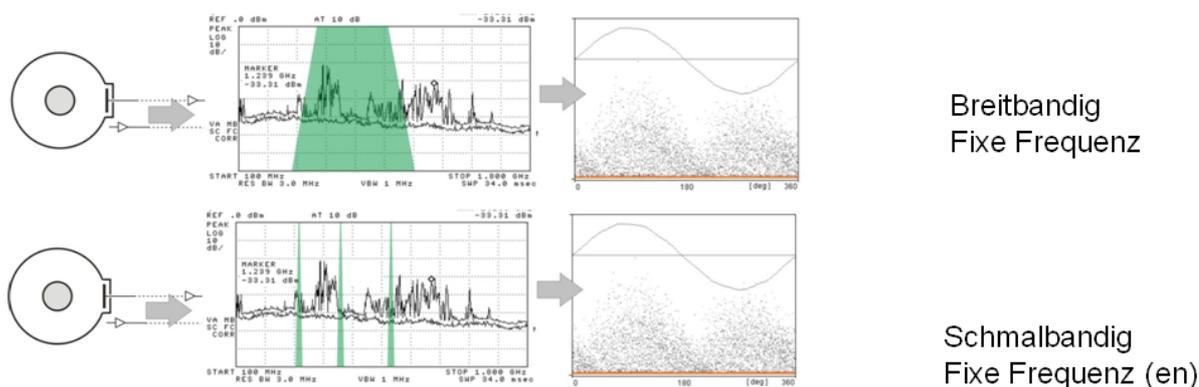
## UHF-TE-Messung Schmalband (variabel)



Standardisierte Messtechnik & Signalverarbeitung => reproduzierbar (auch in 40 Jahren)

### HS-Abnahmeprüfungen an GIS vor Ort

## Weitere UHF-Messverfahren



Vorteil:  
 Nachteile

- Parallele Messung von mehreren Sensoren
- Unempfindlicher, da Störfrequenzen (EMV, Radar, Handy, etc.) nicht mehr selektiv ausgewichen werden kann
  - Spezifische Informationen aus dem Spektrum nicht zugänglich (für Eingrenzung der TE)

### HS-Abnahmeprüfungen an GIS vor Ort

## TE-Messungen von Altanlagen



### Anlass:

- Fehler im Betrieb aufgetreten => Check der ganzen Anlage
- Qualitätsproblem nachträglich bekannt geworden
- Verlängerung des geplanten Betriebes einer Altanlage  
=> Bestimmung des Isolationszustandes
- Anbau weiterer Felder – (Mit-) Überprüfung alte Sammelschiene



### Durchführung:

- Ideale Voraussetzung: UHF-TE-Sensoren sind eingebaut
- Je nach Anlagen-Design: Externe UHF-Sensoren verwendbar

FKH hat zu jedem Anlass mindestens eine Altanlage geprüft

**Empfehlung:** Konsequenter Einbau von UHF-Sensoren

### HS-Abnahmeprüfungen an GIS vor Ort

## GIS-Prüferfahrung der FKH

Seit 1986 Über 80 Anlagen geprüft

Seit 1986 mit konventioneller TE-Messung

Seit 1991 VHF/UHF TE-Messung mit Feldsonden

Seit 1993 Integralprüfungen (d.h. mit Kabel und Spannungswandlern)

### HS-Abnahmeprüfungen an GIS vor Ort

## Zusammenfassung

- Von den 3 Prüfverfahren die die IEC vorschlägt wird hauptsächlich die Stehwechselspannungsprüfung mit UHF-TE-Messung angewandt
- Der Einbau von genügend UHF-TE-Sensoren bietet Vorteile:
  - Hohe Messempfindlichkeit trotz externen Störungen
  - Nachmessungen im Betrieb / bei Erweiterungen möglich
  - Schnelle Ortung
- Integrale Prüfung: Kein nachträgliches Öffnen der GIS; Schnittstellen geprüft

Die protokollierten Messresultate sind nur die „Spitze des Eisberges“. Die jahrzehntelange Erfahrung in der Entwicklung von Messtechnik, der Anwendung von Messmethoden sowie in der systematischen Vorgehensweise bei Ereignissen bildet die Basis für effiziente Prüfungen mit einem hohen Qualitätsstandart.

## HS-Abnahmeprüfungen an GIS vor Ort

## Ausblick

- Trend zur TE-Messung bei immer tieferen Spannungsebenen
  - Aktuell: UHF Messung bei 50 KV / konventionelle Messung bei 24 kV
  - Dies zeigt, dass die Möglichkeit zusätzliche Fehler zu eliminieren sowie der Gewinn an Informationen über die dielektrische Integrität weit höher eingeschätzt werden als die geringen Mehrkosten einer TE-Messung
- Trend zur Nachmessung von Altanlagen im Betrieb / Nachprüfung bei Erweiterung
- Trend im Ausland: Einbau von UHF-TE-Monitoring-Systemen

Anmerkung: Weitere Informationen zu Normen, Isolationskoordination sowie Prüfquellen und Einspeisemöglichkeiten können sie aus dem Referat von Herrn Heizmann anlässlich der Mitgliederversammlung der FKH 2005 entnehmen.

## HS-Abnahmeprüfungen an GIS vor Ort

**Teilnehmerverzeichnis sortiert nach Namen**

Adili	Sedat	Eidg. Technische Hochschule Zürich	Zürich
Aeschbach	Bruno	Elektrizitätswerke des Kantons Zürich	Dietikon
Aeschbach	Heinz	Alstom Grid	Oberentfelden
Aeschbach	Reto	Elektrizitätswerke des Kantons Zürich	Dietikon
Albisser	Thomas	Elektrizitätswerke des Kantons Zürich	Zürich
Aschwanden	Thomas	Kraftwerke Oberhasli AG	Innertkirchen
Bachmann	Walter	Pfisterer Sefag AG	Malters
Bader	Marcel	St. Gallisch-Appenzellische Kraftwerke AG	St. Gallen
Bächli	Jonas	ALSTOM (Schweiz) AG	Baden
Balsiger	Jürg	Energie Wasser Bern	Bern
Barbey	Hervé	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
Barrera	Nhora	Axpo – Netze AG	Baden
Bart	Wolfgang	Schweizerische Bundesbahnen	Zollikofen
Baumann	Josef	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Baur	Christoph	ABB Schweiz AG	Zürich
Bausch	Jörg	Siemens AG	Erlangen
Behringer	Felix	ABB Schweiz AG	Zürich
Berger	Stefan	Areva T&D AG	Oberentfelden
Berther	Simon	Axpo Hydro Surselva AG	Tavanasa
Bieri	Norbert	Swiss Steel AG	Emmenbrücke
Bitterli	Christoph	Alpiq Netz AG Gösgen	Niedergösgen
Bleuel	Walter	Industrielle Werke Basel	Basel
Bösch	Michael	ABB Schweiz AG	Zürich
Bolt	Armin	Siemens Schweiz AG	Zürich
Bonanini	Alessandro	Officine Idroelettriche di Mesolcina SA	Soazza
Bräunlich	Reinhold	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
Braissant	Pierre	Service de l'électricité de la ville de Lausanne	Lausanne
Brügger	Thomas	Eidg. Technische Hochschule Zürich	Zürich
Bucheli	Alfred	INP Schweiz AG	Turgi
Buchs	Gérald	Alpiq Netz AG Gösgen	Niedergösgen
Büchel	Beat	EKT AG	Arbon
Calero	Josep Aniceto	Eidg. Technische Hochschule Zürich	Zürich
Castelli	Giovanni	AEW Energie AG	Aarau
Cavelti	Giusep	WWZ Energie AG	Zug
Cesare	Leucio	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Chavaillaz	Jean-Marc	Schweizerische Bundesbahnen	Zollikofen
Dahl	Dominik	Eidg. Technische Hochschule Zürich	Zürich
Dammach	Jean-Pierre	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Dehne	Christian	ABB Schweiz AG	Zürich
Dürr	Josef A.	VSE	Aarau
Egger	Brigitte	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
Eggli	Guido	EKS	Schaffhausen
Ehrich	Bernd	Siemens Schweiz AG	Zürich
Fessler	Peter	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Feusi	Marcel	Eidg. Starkstrominspektorat	Fehraltorf
Fischer	Christoph	Axpo – Netze AG	Baden
Franck	Christian	Eidg. Technische Hochschule Zürich	Zürich
Frey	Andreas	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Füchsle	Dieter	ABB Schweiz AG	Zürich

Fuhr	Jitka	BKW FMB Energie AG	Ostermundigen
Gautschi	David	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Glanzmann	Armin	Centralschweizerische Kraftwerke AG	Luzern
Glur	Robert	Pfiffner Messwandler AG	Hirschthal
Gobeli	Mario	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
Graefen	Robert	Lahmeyer International	Bad Vilbel
Gremaud	Michel	Service de l'électricité de la ville de Lausanne	Lausanne
Grütter	Renato	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Günther	Peter	Simatex AG	Aadorf
Guillod	Charles	Alpiq Netz AG Gösgen	Niedergösgen
Gut	Urs	St. Gallisch-Appenzellische Kraftwerke AG	St. Gallen
Hearn	David	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Heizmann	Thomas	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Chez-le-Bart
Herde	Urs	Elektrizitätswerke des Kantons Zürich	Zürich
Herzog	Bruno	Siemens Schweiz AG	Zürich
Hofstetter	Martin	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Holaus	Walter	ABB Schweiz AG	Zürich
Horner	Heinz	Elektrizitätswerke des Kantons Zürich	Zürich
Huber	Christof	Stadtwerk Winterthur	Winterthur
Imhof	Felix	Kraftwerke Oberhasli AG	Innertkirchen
Jenni	Beat	ABB Schweiz AG	Baden
Knab	Hans-Josef	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Däniken
Köppl	Georg	Köppl Power Experts	Wettingen
Kohler	Jonas	Alpiq Netz AG Gösgen	Niedergösgen
Kostovic	Jadran	ABB Schweiz AG	Zürich
Kronig	Heinz	Dr. H. Kronig & Partner AG	Zermatt
Krpoun	Ricardo	ABB Schweiz AG	Zürich
Kunz	Paul	Arnold AG	Ostermundigen
Lehner	Markus	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Lindhorst	Thomas	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Lottner	Matthias	Haefely Test AG	Basel
Luder	Markus	ABB Schweiz AG	Baden
Lüscher	Robert	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Luternauer	Hansruedi	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Mächler	Thomas	ABB Schweiz AG	Zürich
Märki	Martin	IUB Ingenieur-Unternehmung AG	Bern
Marro	Anton	Arnold AG	Ostermundigen
Mathis	Peter	Kraftwerke Oberhasli AG	Innertkirchen
Meier	Peter	Axpo AG - Netze	Baden
Meier	Andreas	Brugg Kabel AG	Brugg
Mele	Adamo	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
Miesch	Markus	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Müller	Pascal	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Muller	Pierre		Lausanne
Nafzger	Martin	Axpo AG - Netze	Baden
Neuhold	Stephan	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Däniken
Neumann	Claus	Amprion GmbH	Dortmund
Novotny	Radomir	electrosuisse	Fehraltorf
Oberholzer	Patrick	Elektrizitätswerke des Kantons Zürich	Zürich
Occiganu	Antonio	Misoxer Kraftwerke AG	Lostallo
Pagès	Rémi	Alstom Grid	Oberentfelden
Paglia	Fabio	Siemens Schweiz AG	Zürich

Palmieri	Gerardo	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Prinz	Hanspeter	ALSTOM (Schweiz) AG	Baden
Qui	Yi	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Rè	Romano	Officine Idroelettriche della Maggia SA	Locarno
Reber	Heinz	Kantonales Elektrizitätswerk Nidwalden	Stans
Regolatti	Marco	Officine Idroelettriche della Maggia SA	Locarno
Richter	Berhard	ABB Schweiz AG	Wettingen
Roth	Martin	Arnold AG	Ostermundigen
Santa Cruz	Mirko	Pöyry Energy AG	Zürich
Savary	Etienne	Maxwell Technologies SA	Rossens
Sax	Stefan	Axpo AG - Netze	Brunegg
Schell	Fabian	Pöyry Energy Ltd.	Zürich
Schenk	Christoph	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Schenk	Hans Rudolf	BKW FMB Energie AG	Ostermundigen
Schluchter	Samuel	Kraftwerke Oberhasli AG	Innetkirchen
Schneiter- Forster	Franziska	Siemens Schweiz AG	Zürich
Schraudolph	Markus	ABB Schweiz AG	Zürich
Simka	Philipp	Eidg. Technische Hochschule Zürich	Zürich
Sperling	Erik	Pfiffner Messwandler AG	Hirschthal
Stauffiger	Thomas	Omicron electronics	Basel
Stefanidou	Ifigeneia	Axpo AG - Netze	Baden
Steinfeld	Kai	Pfisterer Kontaktsysteme GmbH	Winterbach
Stolz	Johannes	Haefely Test AG	Basel
Storf	Günther	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
Straumann	Ulrich	Eidg. Technische Hochschule Zürich	Zürich
Strobach	Michael	Energie Wasser Bern	Bern
Studer	Rolf	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Stüber	Thomas	ABB Schweiz AG	Zürich
Swoboda	Di Michael	Wienstrom GmbH	Wien
Tomasini	Marco	ABB Schweiz AG	Baden
Tröger	Alexander	ABB Schweiz AG	Zürich
Vallotton	Jean-Daniel	Siemens Schweiz AG	Zürich
Vo	Minh Duc	Maxwell Technologies SA	Rossens
Vogelsang	Ruben	Brugg Kabel AG	Brugg
von Ah	Paul	Pfisterer Ixosil	Altdorf
Voss	H.-Jürgen	KG Ritz Messwandler GmbH & Co.	Hamburg
Wälchli	Fritz	Arnold AG	Ostermundigen
Waishar	Robert	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Walser	Markus	SN Energie AG	St. Gallen
Walter	Michael	Eidg. Technische Hochschule Zürich	Zürich
Walther	Peter	Energie Wasser Bern	Bern
Weidmann	Matthias	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Däniken
Widmer	Patrick	St. Gallisch-Appenzellische Kraftwerke AG	St. Gallen
Wirz	Thomas	Siemens Schweiz AG	Zürich
Wyss	Sascha	Alpiq Netz AG Gösgen	Niedergösgen
Zaengl	Walter		Dübendorf
Zala	Walter	Misoxer Kraftwerke AG	Lostallo
Zellweger	Rudolf	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
Ziegler	Roland	Axpo AG - Netze	Baden
Ziegler	Michael	Eidg. Starkstrominspektorat	Fehraltorf

**Teilnehmerverzeichnis sortiert nach Firmen**

Muller	Pierre		Lausanne
Zaengl	Walter		Dübendorf
Baur	Christoph	ABB Schweiz AG	Zürich
Behringer	Felix	ABB Schweiz AG	Zürich
Bösch	Michael	ABB Schweiz AG	Zürich
Dehne	Christian	ABB Schweiz AG	Zürich
Füchsle	Dieter	ABB Schweiz AG	Zürich
Holaus	Walter	ABB Schweiz AG	Zürich
Jenni	Beat	ABB Schweiz AG	Baden
Kostovic	Jadran	ABB Schweiz AG	Baden
Krpoun	Ricardo	ABB Schweiz AG	Zürich
Luder	Markus	ABB Schweiz AG	Baden
Mächler	Thomas	ABB Schweiz AG	Zürich
Richter	Berhard	ABB Schweiz AG	Wettingen
Schraudolph	Markus	ABB Schweiz AG	Zürich
Stüber	Thomas	ABB Schweiz AG	Zürich
Tomasini	Marco	ABB Schweiz AG	Baden
Tröger	Alexander	ABB Schweiz AG	Zürich
Castelli	Giovanni	AEW Energie AG	Aarau
Bitterli	Christoph	Alpiq Netz AG Gösgen	Niedergösgen
Buchs	Gérald	Alpiq Netz AG Gösgen	Niedergösgen
Guillod	Charles	Alpiq Netz AG Gösgen	Niedergösgen
Kohler	Jonas	Alpiq Netz AG Gösgen	Niedergösgen
Wyss	Sascha	Alpiq Netz AG Gösgen	Niedergösgen
Aeschbach	Heinz	Alstom Grid	Oberentfelden
Pagès	Rémi	Alstom Grid	Oberentfelden
Bächli	Jonas	ALSTOM (Schweiz) AG	Baden
Prinz	Hanspeter	ALSTOM (Schweiz) AG	Baden
Neumann	Claus	Amprion GmbH	Dortmund
Berger	Stefan	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Dammach	Jean-Pierre	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Frey	Andreas	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Gautschi	David	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Grütter	Renato	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Lindhorst	Thomas	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Lüscher	Robert	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Miesch	Markus	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Palmieri	Gerardo	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Qui	Yi	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Schenk	Christoph	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Waishar	Robert	AREVA T&D AG	Oberentfelden
Kunz	Paul	Arnold AG Energie & Telecom	Ostermundigen
Marro	Anton	Arnold AG Energie & Telecom	Ostermundigen
Roth	Martin	Arnold AG Energie & Telecom	Ostermundigen
Wälchli	Fritz	Arnold AG Energie & Telecom	Ostermundigen
Barrera	Nhora	Axpo AG - Netze	Baden
Fischer	Christoph	Axpo AG – Netze	Baden
Meier	Peter	Axpo AG - Netze	Baden
Nafzger	Martin	Axpo AG - Netze	Baden

Sax	Stefan	Axpo AG - Netze	Brunegg
Stefanidou	Ifigeneia	Axpo AG - Netze	Baden
Ziegler	Roland	Axpo AG – Netze	Baden
Berther	Simon	Axpo Hydro Surselva AG	Tavanasa
Fuhr	Jitka	BKW FMB Energie AG	Ostermundigen
Schenk	Hans Rudolf	BKW FMB Energie AG	Ostermundigen
Meier	Andreas	Brugg Kabel AG	Brugg
Vogelsang	Ruben	Brugg Kabel AG	Brugg
Glanzmann	Armin	Centralschweizerische Kraftwerke AG	Luzern
Kronig	Heinz	Dr. H. Kronig & Partner AG	Zermatt
Feusi	Marcel	Eidg. Starkstrominspektorat	Fehraltorf
Ziegler	Michael	Eidg. Starkstrominspektorat	Fehraltorf
Adili	Sedat	Eidg. Technische Hochschule Zürich	Zürich
Brügger	Thomas	Eidg. Technische Hochschule Zürich	Zürich
Calero	Josep Aniceto	Eidg. Technische Hochschule Zürich	Zürich
Dahl	Dominik	Eidg. Technische Hochschule Zürich	Zürich
Franck	Christian	Eidg. Technische Hochschule Zürich	Zürich
Simka	Philipp	Eidg. Technische Hochschule Zürich	Zürich
Straumann	Ulrich	Eidg. Technische Hochschule Zürich	Zürich
Walter	Michael	Eidg. Technische Hochschule Zürich	Zürich
Eggli	Guido	EKS AG	Schaffhausen
Büchel	Beat	EKT AG	Arbon
Novotny	Radomir	electrosuisse	Fehraltorf
Baumann	Josef	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Cesare	Leucio	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Fessler	Peter	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Hearn	David	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Hofstetter	Martin	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Lehner	Markus	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Luternauer	Hansruedi	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Müller	Pascal	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Studer	Rolf	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich	Zürich
Aeschbach	Bruno	Elektrizitätswerke des Kantons Zürich	Dietikon
Aeschbach	Reto	Elektrizitätswerke des Kantons Zürich	Dietikon
Albisser	Thomas	Elektrizitätswerke des Kantons Zürich	Zürich
Herde	Urs	Elektrizitätswerke des Kantons Zürich	Zürich
Horner	Heinz	Elektrizitätswerke des Kantons Zürich	Zürich
Oberholzer	Patrick	Elektrizitätswerke des Kantons Zürich	Zürich
Balsiger	Jürg	Energie Wasser Bern	Bern
Strobach	Michael	Energie Wasser Bern	Bern
Walther	Peter	Energie Wasser Bern	Bern
Barbey	Hervé	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
Bräunlich	Reinhold	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
Egger	Brigitte	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
Gobeli	Mario	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
Heizmann	Thomas	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Chez-le-Bart
Knab	Hans-Josef	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Däniken
Mele	Adamo	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
Neuhold	Stephan	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Däniken
Storf	Günther	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich
Weidmann	Matthias	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Däniken
Zellweger	Rudolf	Fachkommission für Hochspannungsfragen	Zürich

Lottner	Matthias	Haefely Test AG	Basel
Stolz	Johannes	Haefely Test AG	Basel
Bucheli	Alfred	INP Schweiz AG	Turgi
Märki	Martin	IUB Ingenieur-Unternehmung AG	Bern
Bleuel	Walter	IWB	Basel
Reber	Heinz	Kantonales Elektrizitätswerk Nidwalden	Stans
Voss	H.-Jürgen	KG Ritz Messwandler GmbH & Co.	Hamburg
Köppl	Georg	Koepl Power Experts	Wettingen
Aschwanden	Thomas	Kraftwerke Oberhasli AG	Innertkirchen
Imhof	Felix	Kraftwerke Oberhasli AG	Innertkirchen
Mathis	Peter	Kraftwerke Oberhasli AG	Innertkirchen
Schluchter	Samuel	Kraftwerke Oberhasli AG	Innertkirchen
Graefen	Robert	Lahmeyer International	Bad Vilbel
Savary	Etienne	Maxwell Technologies SA	Rossens
Vo	Minh Duc	Maxwell Technologies SA	Rossens
Occiganu	Antonio	Misoxer Kraftwerke AG	Lostallo
Zala	Walter	Misoxer Kraftwerke AG	Lostallo
Bonanini	Alessandro	Officine Idroelettriche di Mesolcina SA	Soazza
Rè	Romano	OFIMA SA	Locarno
Regolatti	Marco	OFIMA SA	Locarno
Stauffiger	Thomas	Omicron electronics	Basel
Glur	Robert	Pfiffner Messwandler AG	Hirschthal
Sperling	Erik	Pfiffner Messwandler AG	Hirschthal
von Ah	Paul	Pfisterer Ixosil	Altdorf
Steinfeld	Kai	Pfisterer Kontaktsysteme GmbH	Winterbach
Bachmann	Walter	Pfisterer Sefag AG	Malters
Santa Cruz	Mirko	Pöyry Energy Ltd.	Zürich
Schell	Fabian	Pöyry Energy Ltd.	Zürich
Bart	Wolfgang	SBB Energie	Zollikofen
Chavaillaz	Jean-Marc	SBB Energie	Zollikofen
Braissant	Pierre	Service de l'électricité de la ville de Lausanne	Lausanne
Gremaud	Michel	Service de l'électricité de la ville de Lausanne	Lausanne
Bausch	Jörg	Siemens AG	Erlangen
Bolt	Armin	Siemens Schweiz AG	Zürich
Ehrich	Bernd	Siemens Schweiz AG	Zürich
Herzog	Bruno	Siemens Schweiz AG	Zürich
Paglia	Fabio	Siemens Schweiz AG	Zürich
Schneiter -Forster	Franziska	Siemens Schweiz AG	Zürich
Vallotton	Jean-Daniel	Siemens Schweiz AG	Zürich
Wirz	Thomas	Siemens Schweiz AG	Zürich
Günther	Peter	Simatex AG	Aadorf
Walser	Markus	SN Energie AG	St. Gallen
Bader	Marcel	St. Gallisch-Appenzellische Kraftwerke AG	St. Gallen
Gut	Urs	St. Gallisch-Appenzellische Kraftwerke AG	St. Gallen
Widmer	Patrick	St. Gallisch-Appenzellische Kraftwerke AG	St. Gallen
Huber	Christof	Stadtwerk Winterthur	Winterthur
Bieri	Norbert	Swiss Steel AG	Emmenbrücke
Dürr	Josef A.	VSE	Aarau
Swoboda	Di Michael	Wienstrom GmbH	Wien
Cavelti	Giusep	WWZ Energie AG	Zug



## Referentenadressen

Aschwanden, Dr.	Thomas	Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) Postfach 3862 Innertkirchen	ast@kwo.ch Tel.: +41 33 982 20 52 dir.: +41 33 982 20 82 Fax: +41 33 982 20 06
Bausch, Dr.	Jörg	Siemens AG Freyeslebenstr. 1 D-91058 Erlangen	joerg.bausch@siemens.com Tel.: + 49 9131 7-32841 Fax.: +49 9131 7-33820
Füchsle	Dieter	ABB Schweiz AG Brown Boveri-Str. 5 8050 Zürich	dieter.fuechsle@ch.abb.com Tel.: +41 58 588 33 00 dir.: +41 58 588 30 46 Fax: +41 58 588 30 44
Gautschi	David	AREVA T&D AG Carl-Sprecher-Strasse 1 8050 Zürich	david.gautschi@areva-td.com Tel.: +41 62 737 37 00 dir.: +41 62 737 35 83 Fax: +41 62 737 33 24
Holaus, Dr.	Walter	ABB Schweiz AG Brown Boveri-Str. 5 8050 Zürich	walter.holaus@ch.abb.com Tel.: +41 58 588 33 00 dir.: +41 58 588 17 83 Fax: +41 58 588 30 44
Neuhold, Dr.	Stephan	Fachkommission für Hochspannungsfragen FKH Voltastrasse 9 8044 Zürich	neuhold@fkh.ch Tel.: +41 62 288 77 95 dir.: +41 62 288 77 93 Fax: +41 62 288 77 94
Neumann, Prof. Dr.	Claus	Amprion GmbH Rheinlanddamm 24 D-44139 Dortmund	claus.neumann@amprion.net Tel.: +49 231 438-03 Fax: +49 231 438 5502
Simka	Philipp	ETH Zürich Fachgruppe Hochspannungstechnologie Physikstrasse 3 8092 Zürich	psimka@eeh.ee.ethz.ch Tel.: +41 44 632 27 77 dir.: +41 44 632 27 83 Fax: +41 44 632 12 02
Wyss	Sascha	Alpiq Netz AG Oltnerstrasse 61 5013 Niedergösgen	sascha.wyss@alpiq.com Tel.: +41 62 286 77 77 dir.: +41 62 858 65 08 Fax: +41 62 286 66 11



## Internetseite für nachträgliche Informationen zur Fachtagung

Internetseite: <http://213.3.5.195/>

Benutzername: ft2010

Passwort: .....  
(wird anlässlich der Tagung angegeben)

Die Gross-/Kleinschreibung muss bei der Eingabe des Benutzernamens und des Passwortes berücksichtigt werden.

Bei der Benutzung des Microsoft Internet-Explorers Version 7.0 muss die Freigabe zum Download aus Web-Seiten vor dem Aufruf des FKH-Fileservers erfolgen, sonst tritt ein Fehler auf. Bei allen anderen Versionen und Browsern kann der Download auch bei Rückfrage des Browsers noch bestätigt werden.









