

Bericht - Exkursion in das Pumpspeicherwerk Goldisthal / Thüringer Wald Teil 3: 400 kV-GIS-Schaltanlage des PSW Goldisthal

Wie schon im Teil 1 dieses Berichtes über die Exkursion in das Pumpspeicherwerk Goldisthal der Vattenfall Europe Generation AG & Co. KG ausgesagt, wurden die Teilnehmer nach der Mittagspause in der Kantine des Pumpspeicherwerks in zwei Vorträgen über die eingesetzte Stromrichtertechnik und die 400 kV-GIS-Anlagen informiert. Im Folgenden wird die Technik der gasisolierten 400 kV-Schaltanlage (GIS) im speziellen Fall des PSW Goldisthal und im Allgemeinen näher behandelt. Den Vortrag hielt unser Kasseler VDE-Mitglied Dipl.-Ing. Wolfgang Gröhl, Leiter des Service Hochspannungsschaltanlagen der AREVA Energietechnik GmbH in Deutschland (ehemaliges Fachgebiet der AEG, welches nach dem Verkauf durch Daimler in den ALSTOM-Konzern eingegliedert wurde und mittlerweile Teil des französischen AREVA-Konzerns ist).

3. 400 kV-GIS-Schaltanlage des PSW Goldisthal

3.1 Projektziele des Betreibers / Besonderheiten und Anforderungen des Projekts

Wie auch schon im Bericht über die Gesamtanlage und im Bericht über die Stromrichtertechnik des PSW Goldisthal ausgesagt, sollten mit der Errichtung und dem Betrieb der Anlage folgende Ziele erreicht werden:

- Bereitstellung elektrischer Spitzenenergie von ca. 1060 MW
- Primär- und Sekundärregelung im Verbundnetz der Vattenfall Europe
- Phasenschieberbetrieb zur Verbesserung des Lastwinkels und zur Verringerung der Übertragungsverluste
- Bereitstellung der Minutenreserve für den Ausfall großer Kraftwerksblöcke und Wiederaufbau des Netzes nach einem Netzzusammenbruch

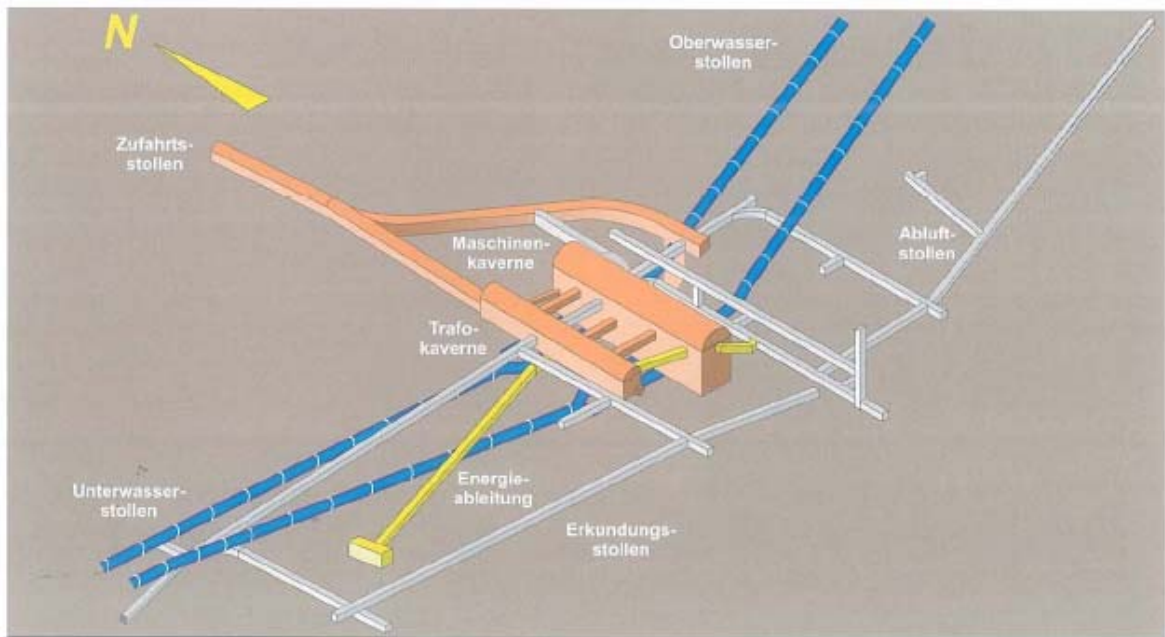
Diese Ziele mussten unter folgenden Besonderheiten und Anforderungen realisiert werden:

- Die topographischen Voraussetzungen für das PSW sind schwierig
- Mit 1060 MW installierter Leistung ist die Energiedichte hoch
- Durch die Unterbringung der Betriebsmittel in Kavernen ist das Platz- und Raumangebot gering
- Aspekte des Natur- und Landschaftsschutzes und die Förderung regenerativer Energien mussten bei der Realisierung in Einklang gebracht werden

3.2 Anbindung und Energieableitungen des PSW Goldisthal

Angebunden ist das PSW Goldisthal über eine 400 kV Doppelfreileitung an das 8 km entfernt stehende Umspannwerk (UW) Altenfeld und dieses wiederum an das UW Remptendorf, an welchem u.a auch die Anlagen in Hohenwarte und das Stahlwerk Thüringen angebunden sind.

Um die Anordnung der Anlagen zu verdeutlichen ist auf der nächsten Seite eine Übersicht über die untertägigen Auffahrungen dargestellt. Mittelpunkt der Anlage ist die Maschinenkaverne, die wir besichtigt haben (s. Teil 1). Parallel zu Maschinenkaverne ist die Trafokaverne angeordnet, in der neben den vier Maschinentransformatoren 400 / 18 kV auch die Anfahrumrichter untergebracht sind. Die beiden Unterwasserstollen unterqueren die Trafokaverne und den Energieableitungstollen, in welchem die 400-kV-VPE-Kabel als Verbindung zwischen den Maschinentransformatoren und der 400 GIS - Anlage verlegt sind.



Für die Maschinentransformatoren wurden je ein GIS B 412 - Transformator-Kabelanschluss Modul (Typen werden später erklärt) sowie zwei GIS 412 400 kV-Verteilanlagen mit SF₆-/Luft-Durchführungen erforderlich.

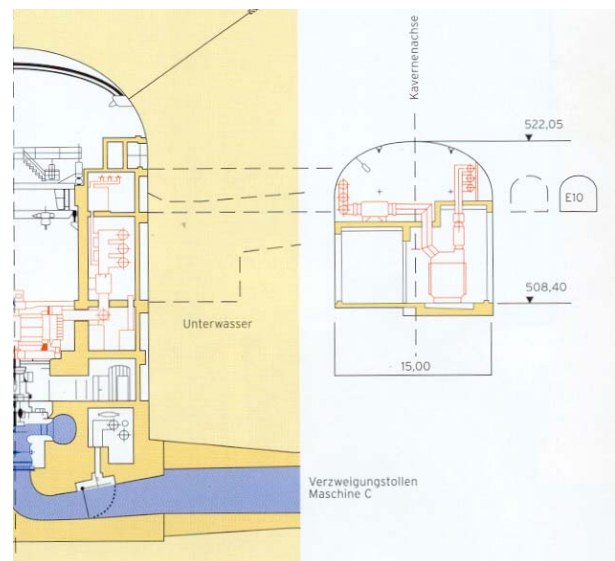
Entscheidungskriterien für GIS-Schaltanlagen wie in diesem Anwendungsfall sind:

- Geringer Flächen- und Raumbedarf
- Eine von Umwelteinflüssen unabhängige Isolation
- Modularer Anlagen Aufbau
- Viele Ausführungsvarianten, Umbau- und Ausbaumöglichkeiten
- Hohe Betriebssicherheit und Verfügbarkeit
- Einfache Instandhaltung, große Wartungsintervalle
- Lange Lebensdauer und hohe Betriebseinsatzzeit > 40 Jahre

Herr Gröhl erläuterte sodann den hier aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht wiedergegebenen Übersichtsschaltplan der Anlage und beschränkte sich, ohne Berücksichtigung der Anlagenteile für Anfahr- und Direktumrichter, hierbei auf den Leistungsfluss zwischen Maschine und Energieableitungsportal.

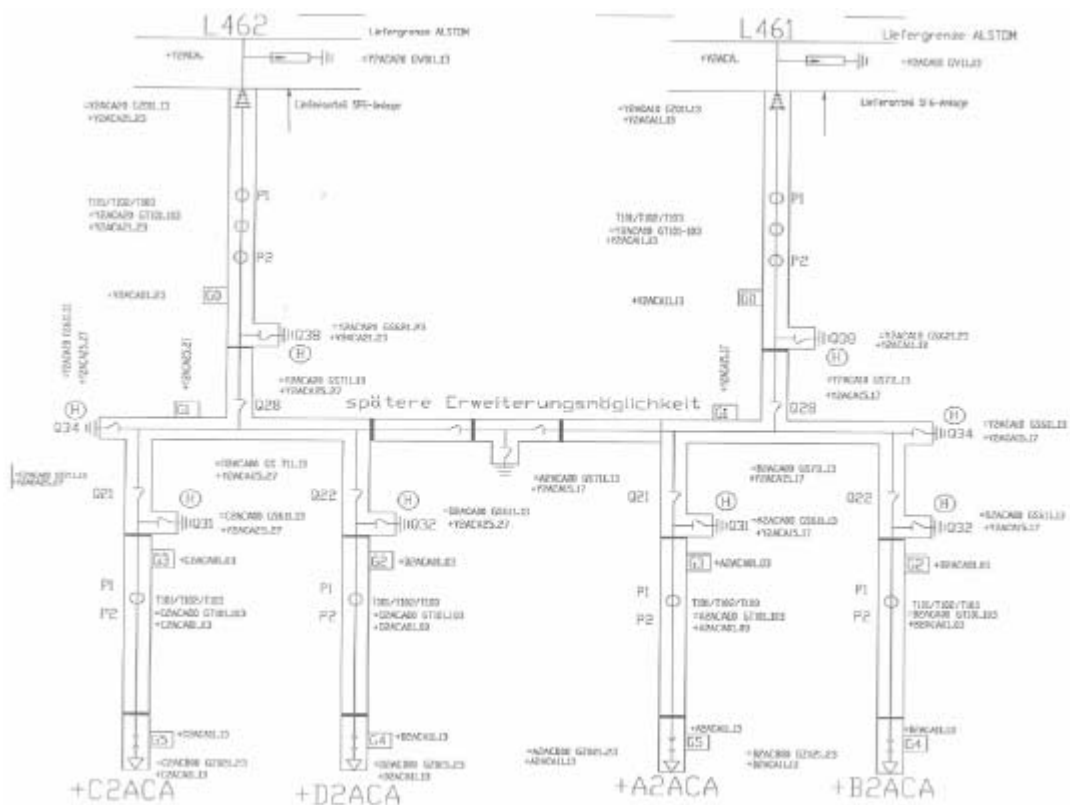
Von den zwei Synchron- und zwei Asynchronmaschinen sind vier koaxiale 18 kV-Hochstromschienensätze (gekapselt und luftisoliert) zu den 18 kV-Maschinenleistungsschaltern geführt und von dort mit der US-Seite der Maschinentransformatoren verbunden.

Auf der OS-Seite der vier Maschinentransformatoren sind die schon erwähnten GIS B 412 Transformator-Kabelanschlüsse Module angebracht, mit denen die Energie durch den Ableitungsstollen über je 350 m 400-kV-VPE-Kabel zu den beiden 400 kV GIS-Verteilanlagen B142 geleitet wird. Dort ist die Doppelfreileitung zum UW Altenfeld angeschlossen.



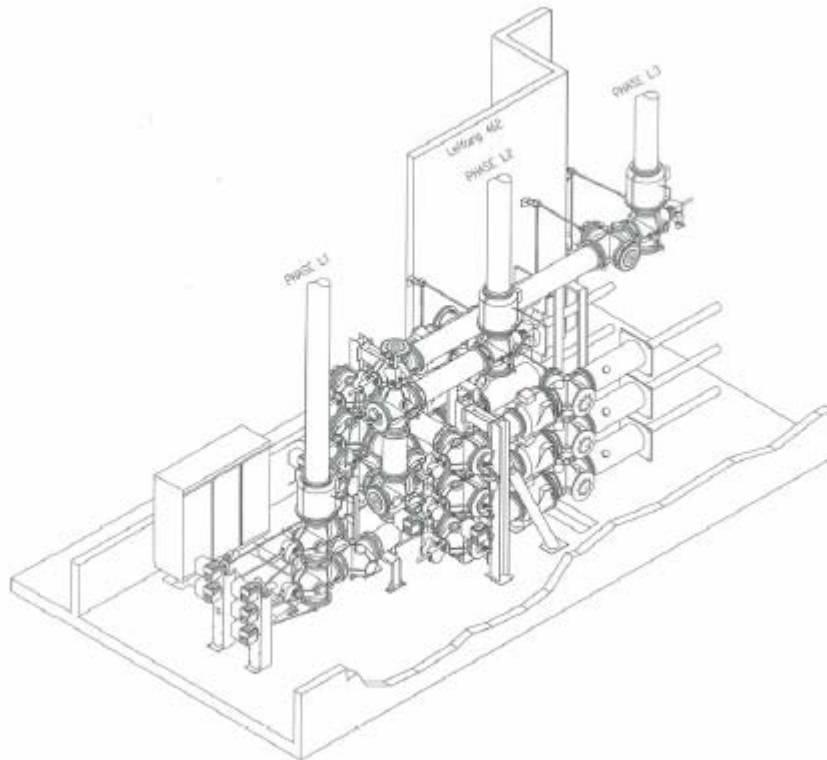


Auf den drei obigen Bildern, entnommen dem im Teil 1 erwähnten Prospekt der Vattenfall, sind von links nach rechts der Maschinentransformator während der Komplettierung, der Schalterflur 18 kV in der Trafokaverne und der Energieableitungsstollen E10 mit dem 400-kV-VPE-Kabelsystemen zu erkennen.



Die obige Zeichnung stellt die 400-kV-GIS-Verteilschaltanlage B 412 einpolig dar. Jede der beiden Schaltanlageanteile ist in die sechs Gasräume G0 bis G5 unterteilt. Die vier Kabelsätze sind an +C2ACA, +D2ACA usw. an den Gasräumen G4 bzw. G5 angeschlossen. Die im Pump- und Generatorbetrieb fließenden Ströme werden über Ringkern-Stromwandler, eingebaut in den Gasräumen G2 bzw. G3, erfasst. Eine Zuschaltung/Abtrennung erfolgt danach leistungslos über die kombinierten Trenn- und Erdungsschalter in dem für jede Verteilschaltanlage gemeinsamen Sammelschienen-Gasraum G1. Hier werden je eine Asynchron- und Synchronmaschine zusammengefasst. Die jeweilige Sammelschiene kann vom Energieableitungsportal über Trenner im gleichen Gasraum abgeschaltet werden. Die Erdung des Energieableitungsportals erfolgt im Gasraum G0. Dieser ist mit den SF₆-/Luft-Durchführungen abgeschlossen und stellt die Verbindung zum luftisolierten Energieableitungsportal mit den Überspannungsableitern dar. Die Spannungsmessung erfolgt auf der 400 kV Seite im UW Altenfeld mit konventionellen Spannungswandlern.

Über eine jetzt schon dargestellte spätere Erweiterungsmöglichkeit können die Sammelschienen der beiden Verteilschaltanlagen über zwei Trenner und einen Erder miteinander verbunden bzw. geerdet werden. Die drei Gasräume hierfür sind noch nicht bezeichnet.



Die obige Darstellung zeigt perspektivisch den Aufbau einer der beiden GIS - Verteilschaltanlagen des hier eingesetzten Typs B142 mit den drei Phasen L1 bis L3. Die Daten der GIS-Schaltanlage B142 sind nachfolgend dargestellt. Sie wird verwendet im Spannungsbereich 362 bis 420 kV und kann für Bemessungskurzschlussströme bis 50 kA geliefert werden. Nennbetriebsströme bis 5.000 A sind möglich.

	72.5 kV	145 kV	170 kV	245 kV	300 kV	362 kV	420 kV	550 kV
31.5 kA	F35	B65	B95	B105 (B95)*	T105	B142	T155	
40 kA								
50 kA	B105							
63 kA	T105							

3.3 Technik Gasisolierter Schaltanlagen (GIS) im Allgemeinen

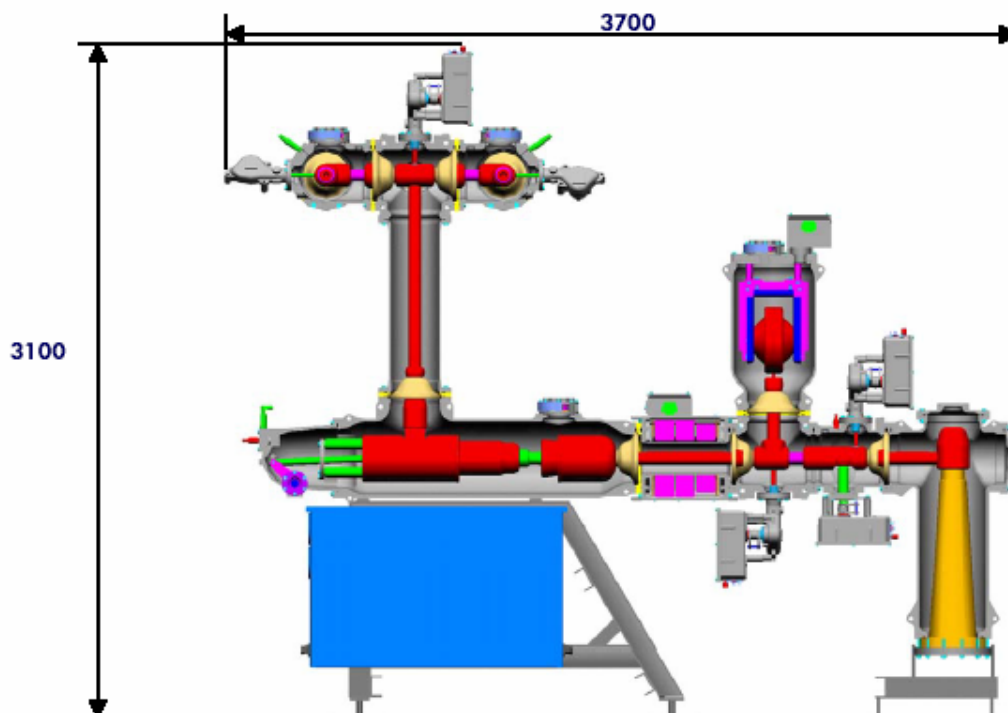
Diese Schaltanlagen stellen, wie Herr Gröhl ausführte, eine bewährte Technologie dar. Gasisolierte Schaltanlagen haben sich seit den siebziger Jahren weltweit bis zu den höchsten Betriebsspannungen bestens bewährt. Die Spannung führenden Teile sind vollständig in metallischen Hüllen (meist Aluminium) gekapselt. SF₆-Gas ist Isolier- und Löschmedium zugleich und ermöglicht ein kompaktes, flexibles Design sämtlicher durch Mehrfachanwendung geprüfter Schaltanlagenkomponenten. Die einphasige ausgeführte Kapselung ergibt zudem konzentrische Feldverteilung mit reduzierten elektrischen Feldstärken. Die Stromrückführung über die Hülle reduziert die stromabhängigen dynamischen Beanspruchungen. Dreipolige Fehler innerhalb einer solcher Art ausgeführten GIS sind ausgeschlossen.

Die Zauberformel zur Anwendung der GIS-Technik laute daher

$$GIS = \frac{AIS}{10} m^3$$

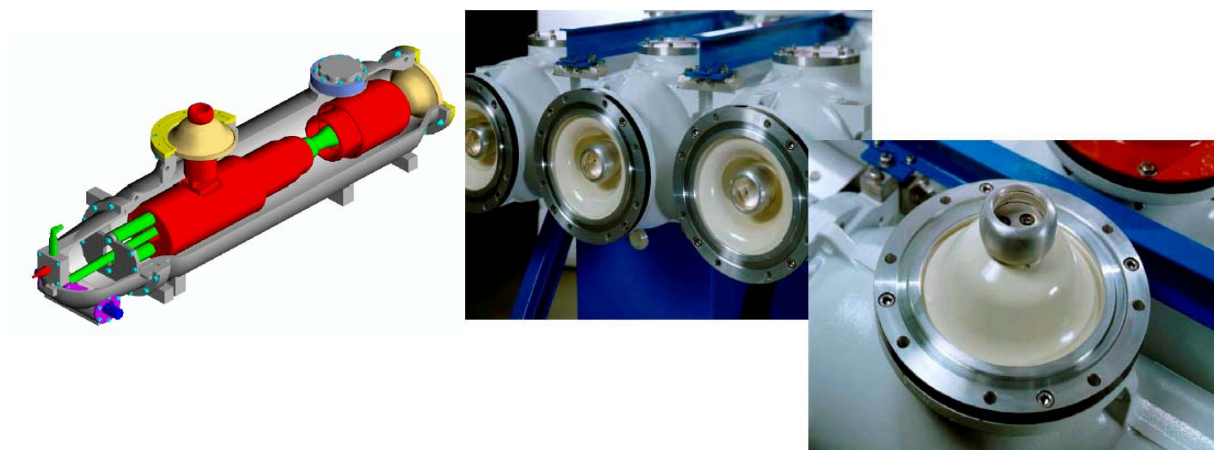
wobei AIS für luftisolierte Technik steht. Diese Formel kann allerdings nur im Zusammenhang mit den Kosten für eine GIS-Schaltanlage und den dadurch eingesparten Baukosten für einen entsprechend voluminöseren Schaltanlagenraum oder zumindest eine sonst nicht realisierbare Anlage gesehen werden.

3.4 GIS-Schaltfeld – Übersicht und Aufbaukomponenten

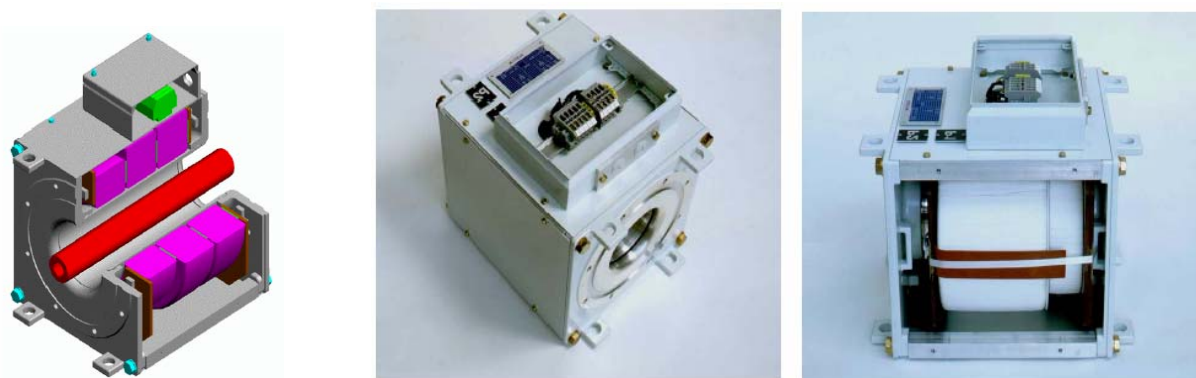
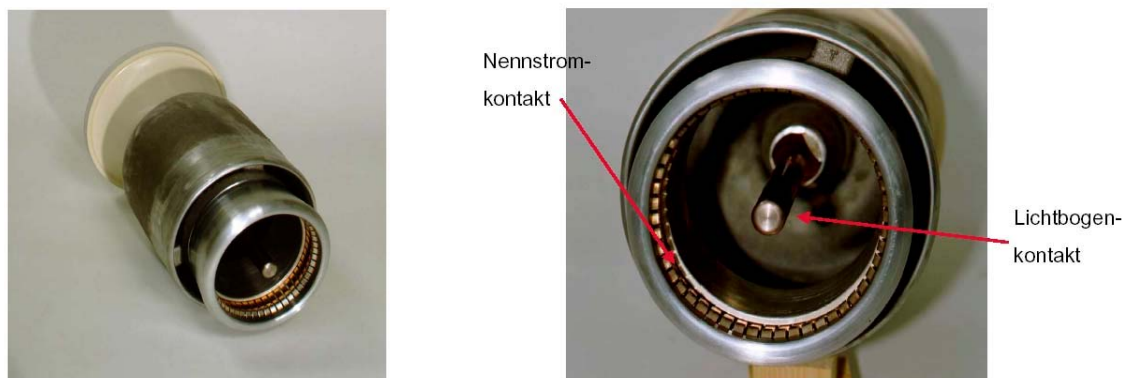


In der obigen Computerzeichnung ist als zentrales Element oberhalb des blau dargestellten Federenergieantriebs der Leistungsschalter dargestellt. Rechts davon sind pinkfarbene ein dreierkerniger Stromwandler und nach oben angeschlossen ein Spannungswandler dargestellt. Ein Anschlussmodul für Hochspannungskabel schließt das Schaltfeld rechts ab. Oberhalb des Leistungsschalters ist ein Doppelsammelschienen-Modul mit Trenn- und Erdungsschalter dargestellt.

Nachfolgend werden die wesentlichen Komponenten einer GIS-Schaltanlage im Detail dargestellt:

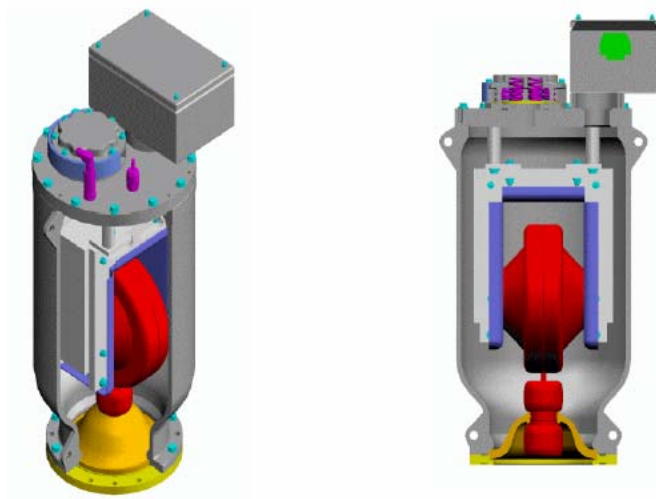


In den oberen drei Bildern sind das Leistungsschaltermodul als Computerzeichnung (li.), die Rückseite mit Schottisolatoren und Steckkontakten (mi.) und der obere Schottisolator mit Steckkontakt (re.) dargestellt. Unten sind dargestellt der Haupt- und Lichtbogenkontakt des Leistungsschalters mit Schottisolator (li.) und vergrößert die unterschiedlichen Kontaktelemente (re.)

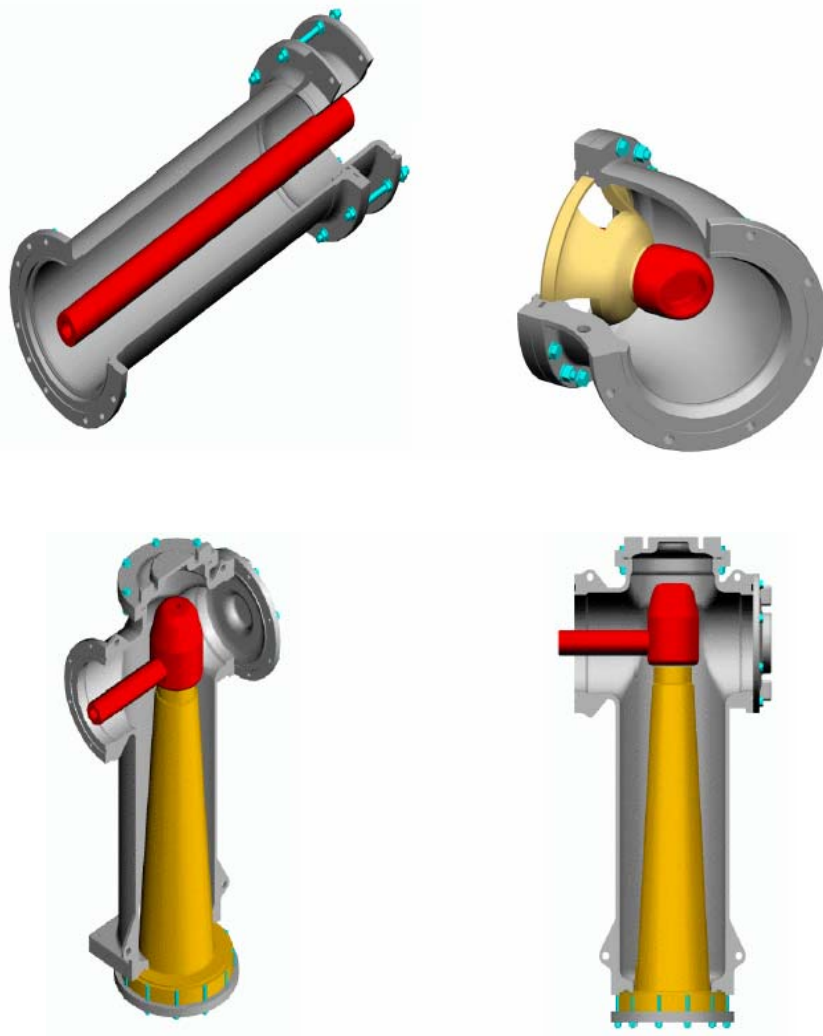


Oben sind dargestellt als Computerzeichnung ein induktiver Ring-Stromwandler (li.) und rechts davon zwei Fotos dieses Wandlers im Außengehäuse. Die Stromwandlerkerne liegen außerhalb des SF₆-Gasraums, der Innenleiter ist auf der Computerzeichnung rot dargestellt und bildet die Primärwicklung.

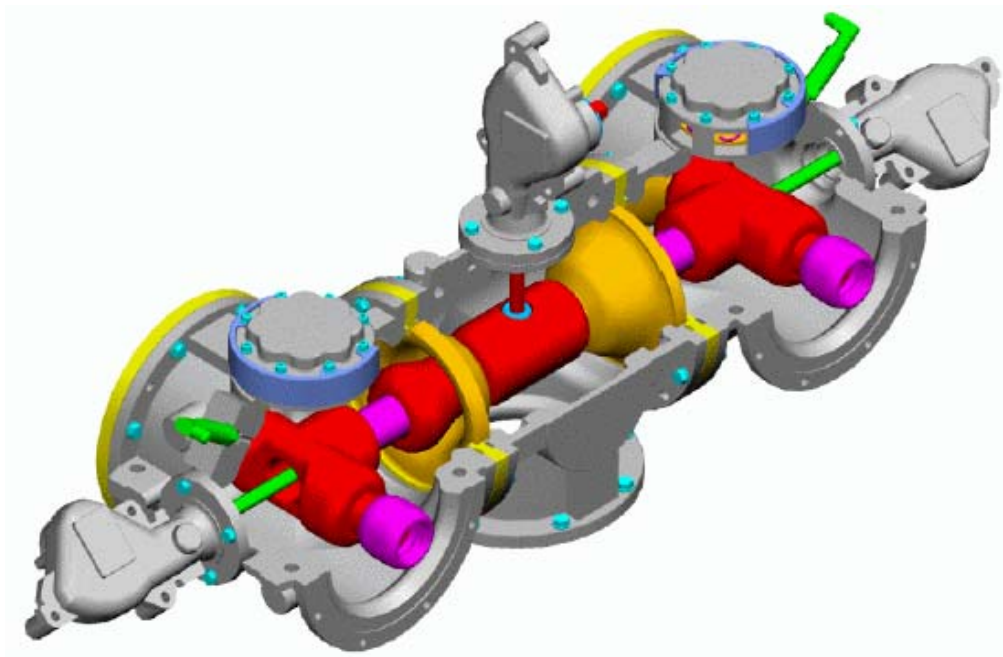
Auf der nächsten Seite oben sind zwei Computerzeichnungen eines induktiven Spannungswandlers dargestellt. Diese bilden einen eigenen Gasraum.



Zur Verbindung dienen Sammelschienen und Winkelmodule, welche unten dargestellt sind. Diese Module können vielfältig eingesetzt werden.



Auch die oben dargestellten Anschlussmodule für Hochspannungskabel kommen in vielfältiger Ausführung, in Abhängigkeit der verwendeten Hochspannungskabel Typen zum Einsatz.



In der obigen Computerzeichnung ist das Sammelschienenmodul mit Trenn- und Erdungsschalter dargestellt.

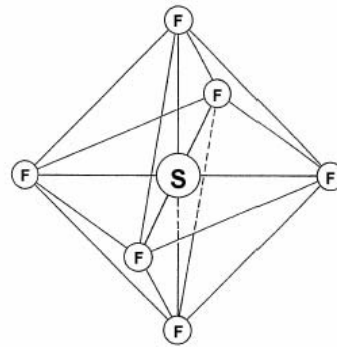
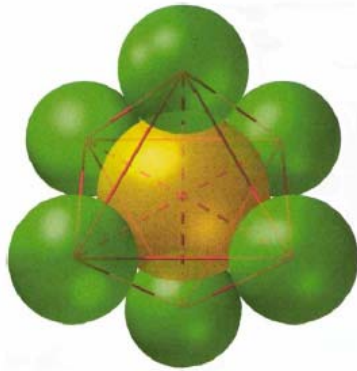
Die Fotos unten zeigen den Sammelschientrennschalter (li.) und den Erdungsschalter (re.), jeweils im Außengehäuse eingesetzt.



3.4 Besonderheiten im Umgang mit SF₆-Gas

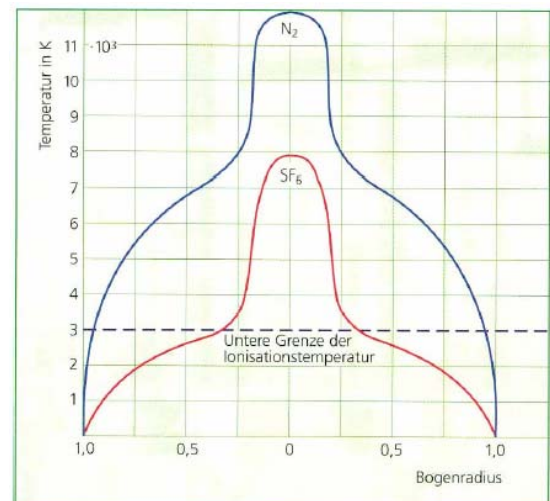
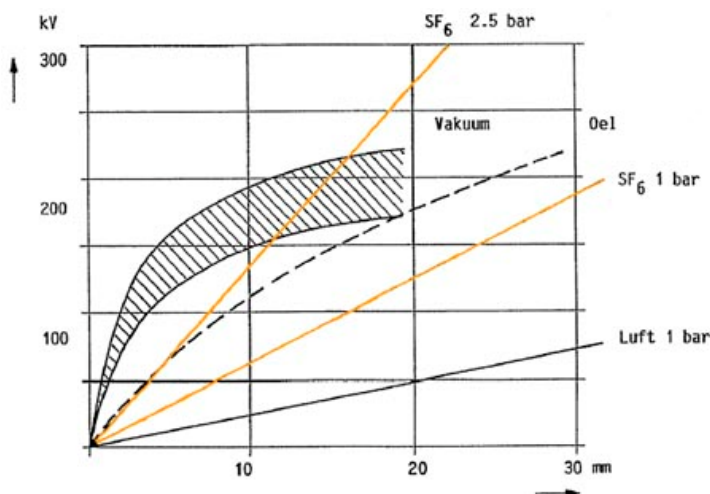
Die chemischen Eigenschaften von SF₆-Gas können kurz gefasst mit ungiftig, farblos, geruchlos, chemisch beständig und inert, nahezu wasserunlöslich, nicht brennbar und leicht verflüchtigbar beschrieben werden.

Das Gas ist fünfmal schwerer als Luft, sein Molekulargewicht beträgt 146,05. Weiterhin ist das neue SF₆-Gas nicht gesundheitsschädlich, sein MAK-Wert (Maximale Arbeitsplatz Konzentration) beträgt 1.000 ppm entsprechend 6 g/m³ bzw. 0,1 Vol %.



Um ein zentrales Schwefelatom sind sechs Fluoratome als hexagonales Molekül bei dieser chemischen Verbindung angeordnet.

Bei den elektrischen Eigenschaften von SF₆-Gas ragt die Spannungsfestigkeit heraus. Aus der nachfolgenden prinzipiellen Darstellung (u. li.) geht hervor, dass bei Abständen unterhalb 10 mm Vakuum zwar einen besseren Isolationswert als SF₆ mit einem Druck von 2,5 bar hat, dieser Vorteil jedoch bei Spannungen oberhalb 200 kV nicht mehr gegeben ist.



Bei Abschaltungen, insbesondere bei Kurzschlussabschaltungen mit hohen Strömen, entstehen in der Schaltkammer eines GIS - Leistungsschalters Lichtbögen, die im Nulldurchgang des Stromes gelöscht werden müssen. Die Löscheigenschaften von SF₆ als elektronegatives Gas sind gekennzeichnet durch gute thermische Löscheigenschaften, hohe spezifische Wärme, gute Wärmeleitfähigkeit und niedrige Schallgeschwindigkeit.

In der schematischen Darstellung oben rechts wird der radiale Temperaturverlauf von SF₆ mit N₂ (Stickstoff) verglichen. Durch die hohe Spannungsfestigkeit können Anlagen und somit vornehmlich auch Unterbrechereinheiten von modernen SF₆ - Leistungsschalter mit kleineren inneren Volumina erstellt werden. Das somit auch kleinere Volumen des benötigten Gases wird auf weniger hohe Temperaturen aufgeheizt und ermöglicht somit die Realisierung kompakter Unterbrechereinheiten.

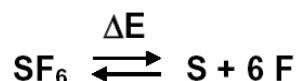
Im Zuge der Weiterentwicklung von GIS-Schaltanlagen wurden erhebliche Reduzierungen der eingesetzten SF₆-Gasmengen realisiert. So waren in der 1. Generation 1985 noch ca. 255 kg SF₆ für ein Schaltfeld mit sog. 2-Druckschaltern erforderlich. Diese Menge konnte in der 2. Generation 1990 mit sog. Blaskolbenschaltern auf ca. 66 kg und mit der 3. Generation mit sog. Selbstblassschaltern auf 56 kg reduziert werden.

3.5 Umweltverträglichkeit von SF₆-Gas

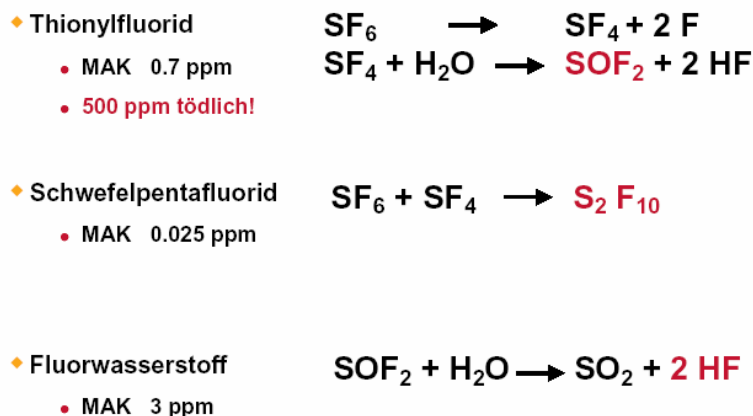
SF₆-Gas hat leider auch, nachfolgend beschrieben, negative Eigenschaften und als Klimagas einen erheblichen Einfluss. Die Wirksamkeit auf den Treibhaus-Effekt von 1 kg SF₆-Gas entspricht in etwa 23 900 kg Kohlendioxid (CO₂). Es trägt aber nicht wesentlich zur Zerstörung der Ozonschicht bei. Der Abbau des SF₆-Gases in der Atmosphäre durch energiereiche UV-Strahlung dauert ca. 3.200 Jahre. Die Emission durch elektrotechnische Anlagen in Deutschland betrug 1997 10% von 238 t der Gesamtemission. Es gelang, eine Reduktion bis 2003 auf ca. 13,5 t zu realisieren.

SF₆-Gas zerfällt unter Lichtbogeneinfluss in teilweise hochgiftige Spaltprodukte, ist aber recyclingfähig. SF₆-Produzenten und Schaltgeräte-Hersteller haben daher ein Wiederverwendungs- und Entsorgungskonzept realisiert.

Die Zersetzung von SF₆ beginnt ab einer Temperatur von ca. 1.600 K und oberhalb von ca. 2.600 K ist es vollständig dissoziiert. Gasförmige Zersetzungsprodukte werden durch einen Adsorber im Leistungsschalter über ein Molekularsieb aufgenommen. Feste Zersetzungsprodukte entstehen durch Reaktion mit den Metallen und fallen als nicht leitfähiger Staub an. Interessant hierbei ist, dass das Gas nach dem Stromnulldurchgang nahezu vollständig rekombiniert, es sich also um eine reversible Reaktion entsprechender nachfolgender Darstellung handelt:

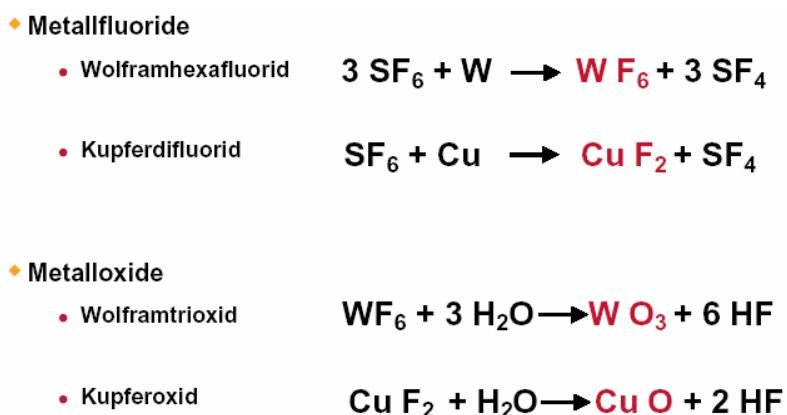


Die gasförmigen Zersetzungsprodukte entstehen wie folgt



Fluorwasserstoff (HF) entsteht bereits in der obersten und weiter in der untersten Reaktionskette der drei dargestellten gasförmigen Zersetzungsprodukte und ist Flusssäure. Der Nachweis gelingt mit Dräger-Röhrchen über das entstehende Schwefeldioxid (SO₂).

Als feste Zersetzungsprodukte entstehen



Aufgrund seiner nachteiligen Umweltverträglichkeit wurde in einer Ökobilanz-Studie (ABB, AREVA, E.ON, RWE, Siemens und Solvay) der Einsatz von SF₆-Gas im Vergleich von GIS- mit AIS- Schaltanlagen unter Umweltaspekten untersucht.

- "Stromversorgung unter Nutzung der SF6 Technologie", 1999
- "SF₆-GIS-Technologie in der Energieverteilung – Mittelspannung", 2003

Eine freiwillige Selbstverpflichtung der Hersteller und Betreiber zur Vermeidung und Reduktion von Emissionen in 1997 und 2005 ist vom Bundesumweltministerium anerkannt.

Der Umgang mit reinem SF₆-Gas ist wie folgt geregelt:

- für reines Gas ist keine Betriebsanweisung nötig
- in geschlossenen Räumen besteht Erstickungsgefahr durch Sauerstoff-Verdrängung
- in Räumen mit SF₆ Anlagen besteht Rauch-, Eß- und Trinkverbot
- Gas darf nicht entweichen
- zu öffnende Gasräume sind vollständig abpumpen, möglichst bis <20 mbar Totaldruck
- eine strenge Trennung von SF₆ und Luft ist zu realisieren
- es ist ein Überdruck von ca. 0,05 MPa in Transportgruppen und Servicemitteln zu belassen
- reines SF₆ ist beliebig oft wieder verwendbar

Das Füllen und Absaugen aus GIS-Schaltanlagen erfolgt mit einem SF₆-Servicegerät, welches Filter, Adsorber und Trockner enthält. Das Gerät speichert SF₆ in der flüssigen Phase, ein Behälter mit einem Inhalt von 300 l fasst maximal 280 kg SF₆- Gas.

Diagnosemöglichkeiten für die SF₆-Gasqualität bestehen mit einem Taupunkt-Messgerät, einem Messgerät zur Ermittlung des SF₆-Gehalts, einem Durchflussmessgerät für Dräger-Röhrchen zur Messung des SO₂-Gehalts und einem Lecksuchgerät. Der Umgang mit durch Lichtbogen-einwirkung verunreinigtem SF₆-Gas ist durch Arbeit unter Schutzausrüstung gekennzeichnet. Druckbehälter zur Füllung mit reinem und verunreinigtem SF₆-Gas sind farblich und textlich unterschiedlich gekennzeichnet und warnen in letzterem Fall deutlich sichtbar vor ggf. enthaltenen giftigen und ätzenden Zersetzungsprodukten aus elektrischen Anlagen.

Mit diesen Hinweisen schloss unser Mitglied seinen bis ins Detail gehenden Vortrag. In Anbetracht seiner unmittelbar bevorstehenden Weiterreise nach Frankreich folgte noch eine kurze Diskussion. Wir danken Herrn Dipl.-Ing. Wolfgang Gröhl herzlichst für diesen Vortrag und freuen uns auf ein Wiedersehen in Kassel.

In getrennten Berichten wird im Teil 1 auf die Besichtigung des PSW Goldisthal und die hierbei gegebenen Erläuterungen von Herrn Thomas Schubert, Vattenfall Europe Generation AG & Co. KG, und im Teil 2 auf den Vortrag von Dr.-Ing. Georg Möhlenkamp, Converteam GmbH in Berlin eingegangen.

Wolfgang Dünkel
Obmann Exkursionen und Öffentlichkeitsarbeit

Erstellt mit freundlicher Genehmigung der Areva Energietechnik GmbH in Kassel aus den beim Vortrag in Goldisthal gezeigten Folien.