

Däniken, den 28. August 1968
WB/ASchm

Die Hochspannungs - Freiluft - Versuchsstation Däniken *)

der

Forschungsstation für Hochspannungsfragen (FKH)

W. Baumann

1. Vorgeschichte (1926 - 1937)
2. Versuchsstation Däniken von der Gründung der FKH im Jahre 1937 bis 1941
3. Entwicklung der Versuchsstation seit 1941
 1. Fahrbarer Stossgenerator, 640 kV, 25 kW, 1939 und KO-Messwagen 1942
 2. Zweistrahl-Kathodenstrahl-Oszillographen, 1946
 3. Versuchsanlage für die Messung der Corona-Verluste, 1950
 4. Ergänzungen der Freiluftanlage, Messgebäude, Messeinrichtungen bis 1955
 5. Prüfeinrichtungen für 220 kV und 380 kV-Material
 6. Fahrbarer Stossgenerator, 800 kV, 40 kW, 1956
 7. Neuer Versuchsplatz, 1955
 8. Krananlage I, 1957
 9. Prüftransformator 1000 kV, 1000 kVA, 1958
 10. Scheitelwert-Messgerät 900 kV, 1959
 11. Freiluft - Stossgenerator 2,4 MV, 50 kW, 1958
 12. Messraum II und Fernsteuerungen, 1958
 13. Einrichtung für Rechteckstosstrom, 1958
 14. Ohmsche Spannungsteiler bis 1,8 MV, ab 1959
 15. Kapazitive Spannungsteiler bis 2 MV, 1963
 16. Platzerweiterung, Geleiseanschluss, Rampe, 6 Masten, 1962
 17. Neue Kathodenstrahl-Oszillographen, 1964/1967
 18. Instrumente und Hilfseinrichtungen
4. Zusammenfassung und Ausblick

*) Bis 1955 als Versuchsstation Gösgen bezeichnet, dann in Versuchsstation Däniken umbenannt, da aller Verkehr (Bahn, Post, Strasse) über Däniken(SO) erfolgt.

Bemerkungen: Auf die Wiedergabe der im Text in Klammern aufgeführten Bilder 1 - 14 wird aus Ersparnisgründen verzichtet.

1. Vorgeschichte (1926 - 1937)

Im Jahre 1926 wurde vom SEV mit Hilfe zweier Stiftungen ein Dufour'scher KO angeschafft mit dem Zweck, Gewitterspannungen auf Hochspannungsleitungen zu messen ¹⁾. Der Umbau dieses KO zum genannten Zweck erforderte $1\frac{1}{2}$ Jahre ²⁾³⁾, sodass im Frühling 1928 die ersten Gewitterspannungen auf der Fahrleitung der Forchbahn und an einer 8 kV-Leitung der EKZ gemessen werden konnten ⁴⁾⁵⁾. Weitere Messungen erfolgten 1929 im 132 kV-Unterwerk Rapperswil der SBB.

Die aus dem ursprünglichen Dufour'schen KO entwickelten Registrier-KO, die in der Folge von TTC fabriziert wurden, konnten 1930 mit allem Zubehör in einen alten Bahnwagen eingebaut werden, der samt einem zugehörigen Wohnwagen von der SBB zur Verfügung gestellt wurde. Dadurch wurden die weiteren Gewitterspannungs-Messungen der Jahre 1930 und 1931 (Puidoux), 1932 und 1933 (Gösgen), 1934 bis 1937 (Lavorgo)^{6)...}¹⁰⁾ ermöglicht.

Weitere Untersuchungen mit dem KO wurden vom damaligen Oberingenieur für Kraftwerke und Uebertragungsleitungen der SBB, Herrn H. Habich veranlasst. Sie betrafen vor allem Ueberspannungsmessungen an Schaltern ¹¹⁾ und die ersten ausführlichen Ableitermessungen im Unterwerk Puidoux der SBB 1931 (interner Bericht), die den primitiven Stand der damaligen Ableitertechnik drastisch zeigten. Als Stossgenerator-Kapazität dienten damals 2 Kabelrollen, die von den Kabelwerken Brugg gestiftet wurden. Weitere Messungen betrafen Erdschluss-Ueberspannungen¹³⁾, Stossspannungsversuche an glasegekapselten Einfach-Funkenstrecken¹⁴⁾ und Mikrozeitmessungen ¹⁵⁾.

2. Versuchsstation Däniken von der Gründung der FKH im Jahre 1937 bis 1941

Im Jahre ihrer Gründung 1937 konnte die Forschungskommission für Hochspannungsfragen des SEV und VSE (FKH) als Nachfolger der "Kommission des Kathodenstrahl-Oszillographen" (KOK) im ehemaligen Unterwerk Gösgen der Schweizerischen Kraftübertragungs AG (SK)¹⁶⁾ erstmals eine eigene Versuchsanlage für bescheidene Hochspannungsversuche einrichten. Dazu stellten die Aare-Tessin AG und die Motor-Columbus AG der FKH in freundlicher Weise die bei der Liquidation der SK übernommenen Betriebseinrichtungen zur Verfügung (Schalthaus, Schaltgerüst, 4 einphasige Regulier-Transformatoren 50 kV, 4300 kVA, 2 Oelschalter 50 kV usw.). Damit war der Grundstock für die Prüfanlage gelegt. Einige kleinere Transformatoren und weiteres Material wurden von den EKZ und verschiedenen anderen Spendern überlassen. Die Schenkung von 2 weiteren grossen Kabelrollen durch die Kabelwerke Brugg erlaubte die Erstellung eines Freiluft-Kabelstossgenerators ¹⁷⁾ (mit Stossgenerator I bezeichnet) von 1 MV mit ca. 30 kW Energieinhalt (Bild 1). Damit wurde es möglich, die damals am Anfang ihrer Entwicklung stehenden Ueberspannungsableiter mit spannungsabhängigen Widerständen unter Betriebsbedingungen, d.h. mit anliegender 50 Hz Betriebsspannung systematisch zu prüfen. Eine 1 m Kugelfunkenstrecke mit Schirmen (Bild 2) und eine 1 km lange Wellenleitung gehörten mit zur ersten Ausrüstung der Versuchsstation.

Drei Einstrahl-Hochspannungs-Oszillographen aus der Ende 1937 ausser Betrieb gesetzten fahrbaren KO-Messeinrichtung im SBB-Wagen dienten der Spannungsmessung. Die KO wurden im 1. Stock, die Ladeanlage 300 kV für den Stossgenerator im Parterre des Schalthauses untergebracht; alle übrigen Einrichtungen befanden sich im Freien.

Diese Versuchsanlage, mit grossenteils aus gebrauchtem Material improvisierten Einrichtungen, war bis 1941 nur im Bedarfsfall mit Personal besetzt. Bis zu diesem Zeitpunkt wurden vor allem Ableiterprüfungen, aber auch andere Untersuchungen¹⁸⁾ ausgeführt.

Die zunehmenden Aufgaben der FKH machten 1941 die Anstellung eines Technikers für die Versuchsstation Däniken notwendig. Die Hilfskräfte wurden weiter nach Bedarf vom KW Gösgen in grosszügiger Weise zur Verfügung gestellt. Hilfseinrichtungen, Instrumente und Werkzeuge waren noch in sehr spärlicher Masse vorhanden. Bei den bescheidenen damaligen Mitteln musste mit den einfachsten Einrichtungen vorlieb genommen und viel improvisiert werden. Die Freiluft-Versuchsanlage, die auch beim späteren Ausbau beibehalten wurde, war eine dieser Sparmöglichkeiten. Auf die Anstellung von Hilfspersonal musste vorerst verzichtet werden.

3. Entwicklung der Versuchsstation seit 1941

Die weitere Entwicklung der Versuchsstation Däniken von 1941 bis 1968 soll nun kurz in historischer Reihenfolge beschrieben werden. Da praktisch alle aufgeführten Einrichtungen bis heute im Betrieb geblieben sind, ergibt sich zusammengenommen der Ausbauzustand 1968.

3.1 Erster fahrbarer Stossgenerator (mit Stossgenerator II bezeichnet), 640 kV, 25 kWs, und KO-Messwagen

Die Stationierung des 1939 von der FKH auf die Landesausstellung fertiggestellten ersten fahrbaren Stossgenerators für 640 kV, bestehend aus 8 Stufen à 1,05 μ F, 80 kV und des neuen, mit 3 Doppel-KO¹⁹⁾ ausgerüsteten Messwagens bedingte 1942 eine erste bauliche Erweiterung durch zwei Garagen (Fahrzeuganhänger). Der fahrbare Stossgenerator (Lieferant Micafil) diente in der Versuchsanlage Däniken vor allem für Stosstrom-Versuche.

3.2 Zweistrahln-Kathodenstrahloszillographen

Die noch aus der ersten Entwicklung der Kathodenstrahl-Oszillographen mit kalter Kathode (1928-1932) stammenden Einstrahl-KO im Messraum konnten 1946 durch zwei neue Zweistrahln-KO (TTC, Bild 3) ersetzt werden. Als wichtige Neuerungen wiesen diese KO 2 Strahlen aus einer Kathode, geringere Bauhöhe infolge liegender Kathoden, Filmschleusen²⁰⁾ und ein neuartiges Zeitrelais für lineare Zeitablenkung²¹⁾ auf. Bis 1950 wurden mit praktisch unveränderter Anlage neben den laufenden Ableiterprüfungen Stosserdungs-Messungen²²⁾, Streuungsmessungen an Funkenstrecken, Isolatoren und Ableitern²³⁾, Versuche

an Lichtbogenstrecken²⁴⁾ usw. durchgeführt, womit je nach Bedarf 1...3 Ingenieure beschäftigt waren.

3.3 Versuchsanlage für die Messung der Korona-Verluste

Die Fertigstellung einer Korona-Messanlage für Höchstspannungsleitungen (Bild 4) im Jahre 1950 (Lieferant Escher-Wyss), war der nächste Schritt in der Entwicklung. Mit ausserordentlichen Beiträgen und Materialspenden der interessierten Mitglieder konnte eine Klimareuse für ein 10 Meter langes Versuchsseil, mit Klimaanlage, Freiluftreuse, Prüftransformator 250 kV, Induktionsregler, Holzgebäude, Scheitelwert-Messgerät 300 kV, Wattmeter für kleine Leistungen und Feuchtigkeits-Messeinrichtungen beschafft werden. Eine ausführliche Beschreibung dieser Koronaverlust-Messeinrichtung wurde im Bulletin SEV 1952²⁵⁾ veröffentlicht. Die Messungen der Koronaverluste wurden ergänzt durch die Messung der Radiostörspannungen.

Die in den Jahren 1950 bis 1955 gewonnenen Messresultate an vielen Leitertypen bis zu Viererbündeln für 650 kV konnten Ende 1957 in einem "Korona-Buch" zusammengefasst werden.

Seit dem Abschluss der Korona-Messungen wird die Klima-Reuse dazu benützt, den Einfluss der Temperatur, Luftdichte, Feuchtigkeit, von Tau und Rauhreif usw. auf Prüfobjekte zu untersuchen. Es wurden damit z.B. Tauversuche an Isolatoren, Dauerversuche an Hochspannungs-Sammelschienen mit fester Isolation, Abkühlungsversuche an Stromwandlern mit Harz-Isolation, Streuungsmessungen an Funkenstrecken und Isolatoren und Vereisungsversuche an 400 kV-Isolatorenketten usw. durchgeführt.

3.4 Ergänzungen der Freiluftanlage, des Messgebäudes, der Messeinrichtungen bis 1955

Nach der Inbetriebnahme der Korona-Anlage konnten von 1951 bis 1955 an der übrigen Anlage einige Verbesserungen vorgenommen und Vorbereitungen für die spätere Erweiterung getroffen werden. So erhielt der Prüfplatz ein Schutzdach und eine Schutzwand gegen Wind und Wetter von Westen.

Das Schaltgerüst wurde einer Revision unterzogen. Der Messraum im Messgebäude wurde vergrössert und übersichtlicher eingerichtet und eine Steuer-Schalttafel für die gesamte Anlage mit Reservefeldern für die in Aussicht stehende Erweiterung eingebaut. Sodann konnte eine weitere Garage für die Aufnahme eines zweiten fahrbaren Stossgenerators gebaut und die Nivellierungsarbeiten für den neuen 220 kV-Prüfplatz ausgeführt werden. Für die Speisung der Versuchsstation, die bis anhin durch eine provisorische Trafostation erfolgte, richtete die ATEL eine neue Freiluftstation 16 kV/500 V ein.

In der Folge konnte die Leistungsanlage durch drei weitere Einphasen-Transformatoren zu je 4300 kVA, die von den CKW aus dem Unterwerk Rathausen

zur Verfügung gestellt wurden, ergänzt werden. Zwei davon wurden auf 50 kV/20 kV bzw. 10 kV und der dritte für 50 kV/1000 V bzw. 500 V umgewickelt. Die zwei 50 kV Oelschalter mit Magnetantrieb (Baujahr ca. 1920) fanden Ersatz in einem neueren Typ mit Motorantrieb. Mit diesen Verbesserungen waren nun Lichtbogenversuche mit ca. 2000 A bei 10 kV Leerlaufspannung oder ca. 30 kA bei 500 V möglich.

Als Messeinrichtungen sind die Anschaffung eines Schleifenoszillographen (Oszillomat) mit 6 Schleifen und einer grösseren Anzahl Messkondensatoren 400 pF, 80 kV Wechselspannung für Spannungsteiler zu erwähnen.

Der Bestand der bis 1955 in der Versuchsstation tätigen Mitarbeiter schwankte zwischen 2-4 Ingenieuren und Technikern, dazu kam ab 1950 ein festangestellter Hilfsarbeiter und ab Herbst 1954 ein gelernter Mechaniker. Von den durchgeführten Versuchen sind, neben den Korona-Messungen²⁶⁾ und Ableiterprüfungen besonders die Versuche zur Entwicklung elektrisch unempfindlicher elektrischer Minenzünder, Ableiterversuche an der Wellenleitung²⁷⁾ und Niederspannungs-Lichtbogenversuche²⁸⁾ zu erwähnen.

3.5 Prüfeinrichtungen für 220 kV- und 380 kV-Material

Im Jahre 1954 beschloss die FKH unter ihrem Präsidenten, Herrn W. Hauser, die Versuchsstation Däniken für die Prüfung von 220 kV- und 380 kV-Material auszurüsten.

In der Folge wurden ein fester Stossgenerator für 2,4 MV und ein Prüftransformator 1 MV in Auftrag gegeben, nachdem schon vorher der zweite fahrbare Stossgenerator (800 kV) bestellt worden war.

Für die Versuchsstation Däniken bedeutete dies der Beginn eines neuen Entwicklungsabschnittes. Mit der Erweiterung der Anlage war auch der Zeitpunkt gekommen, den Betrieb durch die Anstellung von weiterem Hilfspersonal rationaler zu gestalten. Weiter musste versucht werden, durch vermehrte Kundenaufträge Mittel für die schrittweise Ausrüstung mit zeitgemässen Hilfseinrichtungen und für den nötigen Unterhalt zu gewinnen. Mit Hilfe von zwei Mechanikern und einem Hilfsarbeiter, zu denen später noch zwei Mechaniker und eine Hilfskraft kamen, wurde Anfangs 1956 der Ausbau in Angriff genommen.

3.6 Zweiter fahrbarer Stossgenerator (mit Stossgenerator III bezeichnet), 800 kV, 40 kW

Mit diesem zweiten fahrbaren Stossgenerator von 800 kV Ladespannung (10 x 80 kV, 1,25 μ F) und 40 kW Energieinhalt (Lieferant E. Häfely), der im Herbst 1956 zur Ablieferung gelangte, konnte nun mit dem ersten mobilen Stossgenerator (II) zusammen eine transportable Stossanlage von 1440 kV Ladespannung und 65 kW Energieinhalt gebildet werden. Damit wurden Stossversuche in 220 kV-Anlagen möglich.

In der Versuchsstation wird der zweite mobile Stossgenerator vor allem für die Ableiterprüfung benützt, die in den letzten Jahren erheblich vielseitiger und schwieriger geworden ist (Hochstromprüfung bis 100 kA, Langstossprüfung bis 500 A, 2 ms). Aber auch für die Demonstration und Untersuchung von Stosstrom-Wirkungen leistet er gute Dienste (Bild 5).

3.7 Neuer Versuchsplatz

Durch Ausebnen der Deponie auf der Westseite der Anlage wurde ein neuer Versuchsplatz von 20 x 67 m gewonnen, auf dem in der Folge der neue feste Stossgenerator für 2,4 MV und der Prüftransformator 1 MV aufgestellt wurden.

Ein Erdungssystem aus 6 m langen, in den Boden gerammten 2"-Eisenrohren, die in ca. 50 cm Tiefe mit Cu-Band (50 x 3 mm) vermascht sind, erstreckt sich über den grössten Teil des Platzes. Die oberste Schicht desselben besteht aus einer mit Rasen angepflanzten Humusdecke.

3.8 Krananlage I

Als Vorbereitungsarbeit für den Bau des festen Stossgenerators und die Montage des Prüftransformators 1 MV wurde eine Krananlage erstellt. Ein günstig erworbener, gebrauchter Baukran mit 5 bis 12 m Ausladung und max. 3 t Hubkraft wurde gründlich überholt, neu gestrichen und auf einem längs des neuen Prüfplatzes einbetonierten Geleise aufgestellt. Seit der Fertigstellung der Prüfeinrichtungen dient die Krananlage dem Versuchsbetrieb.

3.9 Prüftransformator 1 MV, 1000 kVA (Bild 6)

Die Herstellung, der Transport und die Montage in der Freiluftanlage dieses in verschiedener Beziehung neuartigen Prüftransformators mit Stabkern gaben dem Erbauer (Moser-Glaser AG) einige interessante Aufgaben zu lösen. Ein Bericht mit ausführlicher Beschreibung des Objektes und der benützten Berechnungsmethoden wurde im Bulletin SEV 1959²⁹⁾ veröffentlicht. Die Montage in der Versuchsstation Däniken erfolgte im Frühjahr 1958. Der Transformator wurde auf einem Geleise verschiebbar aufgestellt und kann durch Schwenken der Räder auch auf die senkrecht dazu verlaufenden Krangleise gebracht werden (s. Grundriss, Bild 12).

Die Regulierung erfolgt von der Hauptschalttafel im Messgebäude aus mit Hilfe eines im Korona-Gebäude untergebrachten Induktionsreglers.

Die Inbetriebnahme erfolgte am 12. November 1958. Der Prüftransformator mit seiner 3,5 m-Schirmhaube erwies seither seine besondere Eignung für Glimmeinsatz- und Störspannungs-Messungen. Dank der Glimmfreiheit bis zu hohen Spannungen konnten, unter der Voraussetzung glimmfreier Hochspannungs-Verbindungen, einwandfreie Störspannungs-Messungen an Spannungswandlern zum Zweck der Ausscheidung defekter Stücke und Glimmeinsatzversuche an Trennern und Schalterpolen ausgeführt werden.

Infolge des Wegfallens der Sättigung kann die Oberspannung aus Primärspannung und Primärstrom bestimmt werden; überdies wurde das nachstehend beschriebene Scheitelwert-Messgerät mit kapazitiver Spannungsteilung (E. Häfely) angeschafft.

3.10 Scheitelwert- und Effektivwert-Messgerät für 900 kV

Für die Messung der 50 Hz Hochspannung des Prüftransformators wurde im Frühjahr 1959 ein 900 kV-Scheitelwert-Messgerät (Häfely) in Betrieb genommen. Es besteht aus einem kapazitiven Spannungsteiler für Freiluftaufstellung (Bild 7), dem mit Silizium-Dioden ausgerüsteten Gleichrichterteil und zwei grossen Lichtzeiger-Ableseinstrumenten. Das eine dient für die Ablesung des Scheitelwertes : $\sqrt{2} (kV_{sw}/\sqrt{2})$, das andere für den Effektivwert (kV_{eff}). Drei Messbereiche von 300 kV, 600 kV und 900 kV sind mit einem Umschalter wählbar.

3.11 Freiluft-Stossgenerator (mit Stossgenerator IV bezeichnet) 2,4 MV, 50 kWs (Bild 8)

Das zweite Hauptobjekt der neuen Prüfanlage ist der fest aufgestellte Freiluft-Stossgenerator für 2,4 kV Ladespannung. Er konnte im Herbst 1958 in der Versuchsanlage montiert werden und dient als Ersatz für den nach 20 Betriebsjahren ausgedienten Kabel-Stossgenerator (I), dessen erster Teil auf die ersten Ableiterversuche in Puidoux 1931 zurückgeht und der nun abgebrochen wurde.

Der neue Stossgenerator (Condensateurs Fribourg SA) besteht aus 16 Stufen zu je 150 kV Ladespannung und 0,27 μ F Kapazität. Er hat damit einen Energieinhalt von 50 kWs, der durch die Verdoppelung der Kondensatoren bei Bedarf auf 100 kWs ausgebaut werden kann. Die Hauptdimensionen betragen 3,3 m x 5,7 m Grundfläche und ca. 10 m totale Bauhöhe. Das aus Porzellan-Stützen und Eisenrahmen bestehende Gerüst ist auf einem Betonfundament sturmsicher aufgestellt. Der Ladegleichrichter und zusätzliche Hilfseinrichtungen sind im Unterbau gut zugänglich untergebracht. Die Steuerung und Speisung erfolgt von der Hauptschalttafel aus. Zur Verbesserung der Betriebssicherheit wurde der Stossgenerator im Sommer 1968 mit einem Kunststoff-Schutzzyylinder (Durchmesser 5,3 m, Höhe 12 m) versehen, sowie die Gleichrichter-Anlage für symmetrische Ladespannung gegen Erde umgebaut.

In einem Referat an der Herbstversammlung 1968 der FKH wird über die Erfahrungen mit dem Freiluft-Stossgenerator 2,4 MV berichtet werden.

3.12 Messraum II und Fernsteuerungen

Für die Bedienung des neuen Versuchsplatzes westlich des Unterstandes, der vom Messgebäude nicht gut überblickt werden kann, musste ein neuer Messraum II im Zentrum der Freiluftanlage eingerichtet werden. Um von hier, sowie von 8 anderen Stellen der Anlage aus, alle an der Hauptschalttafel angeschlossenen Objekte steuern zu können, wurde ein System von 20-adrigen Steuerkabeln

verlegt. Diese Tdc-Kabel ohne Abschirmung sind zusammen mit allen weiteren Kabeln ohne Mantel in elektrisch durchverbundenen Kanälen aus Cu-Blech eingelegt, die ihrerseits in betonierten Kabelkanälen untergebracht sind. Die Stossgeneratoren, die Leistungsschalter und der Prüftransformator können mit Hilfe kleiner, tragbarer Steuerpulte, die mit Vielfachsteckern und flexiblen Kabeln angeschlossen werden, von der für die Uebersicht günstigsten Stelle aus gesteuert werden.

3.13 Einrichtung für Rechteck-Stosstrom (Stosstrom langer Dauer)

Die in den Regeln für Ableiterprüfungen vorgeschriebene Prüfung mit Stosstrom langer Dauer (2000 μ s) machte die Installation einer entsprechenden Prüfeinrichtung nötig. Der für diesen Zweck benötigte Kettenleiter aus Kapazitäten und Induktivitäten kann aus den Kondensatoren der Stossgeneratoren II und III (1,05 bzw. 1,25 μ F) und entsprechenden Drosselspulen (mit Anzapfungen von 2 bis 15 mH) aufgebaut werden. Damit sind Rechteckströme bis 500 A bei einer Dauer von 2000 μ s auf Ableiter mit max. 40 kV Restspannung möglich. Eine Erweiterung auf Rechteckströme von 1000...2000 A während 2 ms ist dringend erwünscht, um mit der internationalen Ableiterentwicklung Schritt zu halten.

3.14 Ohmsche Spannungsteiler für Stosspannungen bis 1,8 MV

Für Stosspannungs-Messungen, besonders für Messungen in der Front des Stosses, sowie für die Eichung von kapazitiven Spannungsteilern sind gesteuerte ohmsche Teiler nötig. Die Versuchsstation wurde mit drei am Hochspannungslabor der ETH entwickelten Spannungs-Teilern dieser Art ausgerüstet. Die Nennspannungen betragen 0,6 MV (5,1 k Ω Bild 9), 1,2 MV (9,9 k Ω) und 1,8 MV (15,6k Ω , Bild 10). Ihre Eigenzeiten sind 35 ns, 50 ns und 75 ns, womit die Korrektur der gemessenen Werte angegeben werden kann. Durch auswechselbare Teilerwiderstände (R_2) im Fusse des Teilers kann das für die Oszillographen gewünschte Teilverhältnis in weiten Grenzen gewählt werden.

3.15 Kapazitive Spannungsteiler 2 MV

Für Stosspannungs-Messungen mit kapazitivem Spannungsteiler (z.B. Stoss mit langer Front), oder als kapazitive Belastung für die Regulierung der Frontsteilheit wurde je ein Teiler mit 100 pF und 1500 pF bei 2 MV Nennspannung angeschafft. Jeder Teiler besteht aus drei Kondensatoren (Häfely) mit Porzellanmantel (Embrach) von 300 pF bzw. 4500 pF Kapazität. Die Montage von drei Kondensatoren in Serie bedingt wegen der mechanischen Beanspruchung des Porzellangehäuses im Fusse der Säule eine bewegliche Auflage und Abspannungen (Bild 11).

3.16 Platzerweiterung und Geleiseanschluss

Als letzter Schritt im Ausbau der Versuchsstation für die Prüfung von Höchstspannungsmaterial wurde 1962 der Versuchsplatz erweitert und die nötigen Transport- und Montagemöglichkeiten vorgesehen (Bild 12: Grundriss der Anlage, Bild 13: Modellaufnahme und Bild 14: Ansicht von SW). Es entstand

ein erweiterter Prüfplatz von 79 m auf 60 m, mit Fahrwegen, Krangleise II, SBB-Geleiseanschluss mit 22 m langer Verladerampe, sowie 6 Gittermasten von 17 m bis 25 m Höhe für das Aufhängen der Versuchsobjekte oder der Verbindungsleitungen. Ein zweiter Kran mit 20 m Ausladung ist vorgesehen.

3.17 Neue Kathodenstrahl-Oszillographen

In den Jahren nach dem Krieg hat der KO mit abgeschmolzener Röhre als Messgerät eine enorme Entwicklung, speziell in den USA, durchgemacht. Zur einfachen Bedienung, Vielseitigkeit, kleinen Abmessungen und geringem Gewicht kamen entscheidende Verbesserungen der Messgenauigkeit, Schreibgeschwindigkeit und Betriebssicherheit. Weiter liess die Entwicklung von geeigneten Optiken für die Abbildung des Leuchtschirmes im Masstab 1 : 1 bis 1 : 2 bei gleichzeitiger Beobachtung von Auge, sowie der Polaroidkamera und der Speicherschirme die neuen KO für den Versuchsbetrieb im Hochspannungslabor nun als geeignet erscheinen.

Um damit Erfahrungen sammeln zu können, wurden 1964 zwei verschiedene Typen von Kathodenstrahl-Oszillographen dieser Art (Tektronix) angeschafft, sowie weitere Typen versuchsweise angewendet. Als Nachfolger des seit über 35 Jahren mit grossem Erfolg verwendeten Hochspannungs-KO mit kalter Kathode und Vakuumpumpe kann der als "Stosspannungs-KO" bezeichnete Einstrahl-Oszillograph ohne Messverstärker, mit 24 kV Beschleunigungsspannung gelten. (Lieferant: Tektronix, Type 507). Mit einer Eingangsspannung von 300 V bis 3000 V (Eingangswiderstand 52Ω bzw. $10 M\Omega$) für den vollen Ausschlag von 6 cm entspricht er in dieser Beziehung praktisch dem alten Hochspannungs-KO. Damit können die bisherigen Teiler weiter verwendet werden, sodass auch die Empfindlichkeit gegen Störspannungen auf dem Messkabelmantel nicht erhöht wird.

Der zweite Typ (Tektronix 545) ist ein Universal-Oszillograph (Einstrahl) mit Verstärker und 10 kV Beschleunigungsspannung. Durch auswechselbare "Einschübe" können 1, 2 oder 4 Vorgänge gleichzeitig aufgezeichnet werden. Dieser KO benötigt Eingangsspannungen (Eingangswiderstand $1 M\Omega$) von nur 80 mV bis 80 V für den vollen Ausschlag von 4 cm. Die vom Eingangsspannungsteiler im KO ("Attenuator") für Vollausschlag stets auf 80 mV reduzierte Eingangsspannung bewirkt eine grosse Empfindlichkeit des KO auf Störspannungen bei raschen Hochspannungsvorgängen in der ausgedehnten Anlage insbesondere in den Erdungen und Messkabelmänteln. Dieser KO eignet sich deshalb für nicht sehr rasche Ausgleichsvorgänge oder für 50 Hz Versuche, 100 kA Stosstrom, ebenso für Restspannungs-Messungen mit Stosstrom $8/20 \mu s$, Rechteckstosstrom und für Lösversuche an Ableitern. Seine Vielseitigkeit ist sehr wertvoll, aber bei Hochspannungsmessungen infolge der starken Reduktion der Messspannung am Eingangsteiler und der Störempfindlichkeit der entsprechenden Verstärkerschaltungen leider begrenzt. Die Auslösung muss z.T. über einen besonderen Impulsgeber erfolgen, da die unnötig kleine Auslösespannung von 0,2 bis 10 V bereits Fehlauflösungen durch Störspannungen bewirkt.

Ein weiterer Universal-Oszillograph mit Verstärker, jedoch mit zwei echten Strahlen und zwei unabhängigen Zeitablenk-Systemen (Tektronix 556) kam 1967 dazu.

Damit können mit den entsprechenden Einschüben bis zu 2 x 4 Vorgänge oszillographiert werden.

Für die photographische Aufzeichnung der Oszillogramme wurden zwei Polaroidkameras mit Oszillophot-Optik (Steinheil) angeschafft. Diese erlauben 1 bis 11 Aufnahmen 1 : 1 auf einer ausnützbaren Bildfläche von 7,5 x 9,5 cm oder entsprechend mehr Aufnahmen 1 : 1,2 oder 1 : 2 im Hoch- oder Querformat. Die Oszillogramme sind innert einer Minute verfügbar.

3.18 Instrumente und Hilfseinrichtungen

Zur Rationalisierung des Versuchsbetriebes war auch die Anschaffung oder Herstellung von sehr verschiedenartigen Messinstrumenten und Geräten nötig. So konnte zu den Oszillographen und den schon erwähnten Messeinrichtungen mit der Zeit ein ansehnlicher und zweckmässiger Instrumentenpark angelegt werden.

Als hauptsächlichste Messgeräte sind zur Zeit vorhanden:

- Scheitelwert-Messgerät 300 kV (Häfely)
- Schering-Brücke (TTC) mit Vibrations-Nullindikator
- Schering-Brücke (Tettex) mit elektronischem Nullindikator
- Normalkondensatoren für 2 kV und 300 kV
- Präzisions-Widerstands-Messbrücke (Tettex)
- Präzisions-Wechselstrom-Ampère- und Voltmeter (Norma)
- Stoss-Voltmeter (Häfely)
- Störspannungs-Voltmeter (Bamberg)
- Präzisions-Gleichspannungs-Voltmeter 1500 V (TTC und Tettex)
- Multiplex-Galvanometer mit Lichtzeiger und Fotoelement-Auslösung
- Temperatur-Messbrücke mit Thermoelementen (Tettex)
- kleine R-L-C Messbrücke (Tettex)
- Statische Voltmeter 120 V bis 2000 V (TTC)
- Registrier-mW-Meter (TTC)
- Registrier-mA-Meter (TTC)
- diverse Vielfach-Messinstrumente.

An elektrischen Hilfsgeräten sind zu erwähnen:

- Zwei Synchronisiergeräte (FKH) speziell zur Durchführung von Ableiter-Löschversuchen ("Arbeitsprüfungen")

- Schaltwalze (BBC)

- Gleichspannungsquelle 10 kV, kombiniert mit zwei 10 kV Stoss-
generatoren für die Auslösung der Stossgeneratoren II, III, IV

- Acht Polyäthylen-Messkabel von 100 m Länge, auf leichten und praktischen Kabelrollen (FKH)

- Neue 150 V Batterie mit 40 Ah (Oerlikon) mit Ladegleichrichter für Schwebeladung.

Weiter sind noch die in den letzten Jahren verwirklichteten Hilfseinrichtungen im Gebäude und in der Freiluftanlage, die direkt oder indirekt dem Versuchsbetrieb dienen, zu erwähnen.

Da ist vor allem die geräumige Werkstatt mit 4 Arbeitsplätzen für Mechaniker zu nennen, die in der ehemaligen Montagehalle eingerichtet wurde. Sie ist mit dem nötigen Werkzeug, mit 3 Drehbänken, 2 Bohrmaschinen, 2 Fräsen, Druckluftanlage, Elektro- und Autogen-Schweisseinrichtung etc. ausgerüstet.

Weiter wurde die Materiallagerung verbessert und in Roh- und Speditionsmaterial (Schuppenanbau), Reservematerial (Keller) und Versuchsmaterial (Garage West) unterteilt. Die Bureau- und Messräume konnten praktischer und freundlicher eingerichtet werden; eine kleine Küche mit Warmwasserspeicher steht für die Bereitung von warmen Mahlzeiten zur Verfügung. Auch eine der Arbeit in der Versuchsstation entsprechend dotierte Sanitäts-Ausrüstung ist vorhanden.

Für die speditive Erledigung der mit den Versuchen zusammenhängenden Fotoarbeiten wurde neben dem Messraum I eine Dunkelkammer mit Lichtschleudeneingang eingerichtet. Für die Montage- und Einrichte-Arbeiten in der Freiluftanlage wurden eine fahrbare Leiter (Feuerwehrleiter) mit 11 m Auszughöhe, Flaschenzüge für 3 t und 1,5 t, zwei Zugapparate 1,5 t, Umlenkrollen, Stahlseile, Hanfseile sowie weiteres Freileiter- und Bauwerkzeug angeschafft. Für die Erleichterung der Versuchsarbeiten und der Transporte wurden die Fahrwege und Versuchsplätze zum Teil gewalzt, betoniert oder asphaltiert. Die freien Flächen wurden mit Rasen besät.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Die aus provisorischen Anfängen im Jahre 1937 entstandene Hochspannungs-Versuchsstation Däniken der FKH konnte mit der Zeit zu einer vielseitig ausgerüsteten und wertvollen Einrichtung für die Forschung in der Hochspannungstechnik und für die Entwicklung von Hochspannungsmaterial ausgebaut werden. Sehr verschiedenartige Versuche und Prüfungen von allgemeinem Interesse oder im Auftrag einzelner Kunden aus der Industrie oder von Elektrizitätswerken wurden seit dem Bestehen der Anlage durchgeführt.

Der heutige Stand der Ausrüstung erlaubt unter bestimmten Voraussetzungen Versuche und Messungen bis zu folgenden Grenzen:

Stosspannungen	1/50 μ s	bis	2 MV _{sw}
do.	bis 500 μ s Front	bis	1 MV _{sw}
Stosstrom	5/12 μ s	bis	100 kA _{sw}
do.	8/20 μ s	bis	ca. 30 kA _{sw}
do.	2000 μ s	bis	500 A _{sw}
do.	500 μ s	bis	1000 A _{sw}

Wechselspannung 50 Hz bis 1 MV_{eff}

Wechselstrom 50 Hz (während einiger Sekunden) { bis ca. 2000 A_{eff} bei 10 kV Leerlaufspg.
{ bis ca. 1000 A_{eff} bei 20 kV "
{ bis ca. 50 kA_{eff} bei 500 V "

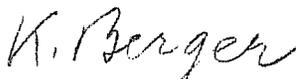
Versuche im Klimatank (3 m ϕ , 10 m lang) bis 500 kV Stosspannung
bis 250 kV Wechselspannung

Die Werte lassen erkennen, dass die Leistungsfähigkeit der Anlage für Versuche an Höchstspannungs-Material nicht mehr genügt. Sollen die Versuchseinrichtungen der FKH mit der Entwicklung der hohen Spannungen Schritt halten, so ist ein weiterer Ausbau unumgänglich.

Durch den geplanten SBB-Güterbahnhof in unmittelbarer Nähe der Versuchstation wird die Durchführung von Störspannungs-Messungen an Prüfobjekten wegen der Fahrleitungsfunken verunmöglicht. Zudem werden die Zufahrten zur bestehenden Anlage durch den von der Bahn beanspruchten Boden abgeschnitten.

Für die Zukunft muss deshalb eine teilweise oder totale Verlegung ins Auge gefasst werden.

Der Versuchsleiter der FKH:


Prof. Dr. K. Berger

Der Berichterstatter:


W. Baumann

Literatur-Verzeichnis

Veröffentlichungen über die Einrichtungen der Versuchsstation Däniken und über die damit durchgeführten Versuche.

- 1) A. Dufour: L'Oscillograph Cathodique Edition.....
Paris, 1923
- 2) K. Berger: Ueber die Weiterentwicklung des Kathodenstrahl-Oszillographen von Dufour zur Ermöglichung der Aufzeichnungen von Gewittererscheinungen, sowie anderer Vorgänge kürzerer Dauer. Bull. SEV 1928, No. 9
- 3) K. Berger: Der Kathodenstrahl-Oszillograph als Registrier-Instrument, speziell für raschverlaufende Vorgänge. Bull. SEV 1928, No.21
- 4) K. Berger: Zweiter Bericht des Ausschusses für die Arbeiten mit dem KO. - Die ersten Beobachtungen des Verlaufes von durch Gewitter verursachten Spannungen in Mittelspannungsnetzen mittels des KO des SEV. Bull. SEV 1929, No.11
- 5) K. Berger: Ueber den Verlauf der von Gewittern auf zwei Mittelspannungs-Leitungen erzeugten elektrischen Spannungen nach Beobachtungen im Sommer 1928. ETH Prom. No.566
- 6) K. Berger: Les phénomènes de surtension par temps d'orage dans les réseaux aériens. Etat actuel de leur étude en Suisse (1930) Bull. SEV 1931, No.17
- 7) K. Berger: Ergebnisse der Gewittermessungen im Jahre 1931. Bull. SEV 1932, No.12
- 8) K. Berger: Die Gewittermessungen der Jahre 1932 und 1933. Bull. SEV 1934, No. 9
- 9) K. Berger: Resultate der Gewittermessungen in den Jahren 1934 und 1935. Bull. SEV 1936, No. 6
- 10) K. Berger: Gewittermessungen der Jahre 1936 und 1937. Bull. SEV 1943, No.13
- 11) K. Berger, H. Habich: Die Abschaltung von Kurzschlüssen am Ende unverzweigter Leitungen und die sich dabei ergebenden Ueberspannungen, nach Versuchen mit dem KO. Bull. SEV 1929, No.20
- 12) K. Berger: Ueberspannungen in El. Anlagen, erläutert an Hand von Untersuchungen mit dem KO. Bull. SEV 1930, No. 3

- 13) K. Berger, H. Wüger: Untersuchungen mittels KO der durch Erdschluss hervorgerufenen Ueber-
spannungen in einem 8 kV-Verteilnetz. Bull. SEV 1930, No.23
- 14) K. Berger: Das Verhalten glasgekapselter Einfach-
Funkenstrecken gegenüber Stossspannungen. Bull. SEV 1933, No. 2
- 15) K. Berger: Einige Methoden und Resultate moderner
Mikrozeitmessung. Bull. SEV 1935, No.23
- 16) Mitteilungen der Schweizerischen Kraftübertragungs-
AG über ihre heutigen Betriebsanlagen.
Die 135 kV-Schaltstation Gösgen. Bull. SEV 1921, No. 8
- 17) K. Berger, E. Schneeberger: Ein Kabel-Stossgenerator für grosse
Leistung und 1 Million Volt Stoss-
spannung. Bull. SEV 1933, No.15(6)
- 18) K. Berger, BC Robin-son: Absolute Eichung von Kugelfunkenstrecken
mit dem Kathodenstrahl-Oszillographen
als Nullinstrument. Bull. SEV 1940, No. 7
- 19) K. Berger: Ein neuer Doppel-Kathodenstrahl-Oszil-
lograph. Bull. SEV 1940, No. 5
- 20) K. Berger: Eine neue Filmschleuse für KO, Elek-
tronen-Mikroskope und Elektronen-
Beugungsgeräte. Bull. SEV 1944, No. 9
- 21) K. Berger: Eine neue Schaltung für die Erzeugung
zeitproportionaler Ablenkungen in
Kathodenstrahl-Oszillographen. Bull. SEV 1944, No. 2
- 22) K. Berger: Das Verhalten von Erdungen unter hohen
Stosströmen. Bull. SEV 1946, No. 8
- 23) K. Berger: Experimentelle Untersuchungen über die
Streuungen der Ueberschlags- und An-
sprechspannungen von Isolatoren, Fun-
kenstrecken und Ableitern unter hohen
Stossspannungen. Bull. SEV 1953, No. 8
- 24) P. Wildi: Ueber den Verlauf der Verfestigung von
Lichtbogenstrecken. ETH Prom. No. 2045
- 25) E. Seylaz, K. Berger: Versuchsanlage für die Messung der Koro-
na-Verluste von Höchstspannungsleitern
unter willkürlich erzeugbaren oder natür-
lichen klimatischen Verhältnissen. Bull. SEV 1952, No.14
- 26) E. Seylaz, O. Gerber: Zum Einfluss der Alterung des Leiterseils
auf die Koronaverluste bei Regen. Bull. SEV 1955, No.19

- 27) R. Rutz: Ueber den räumlichen Schutzbereich eines
Ueberspannungs-Ableiters.
(ETH Prom. No. 2510) Bull. SEV 1956, No. 1
- 28) W. Baumann: Wechselstrom-Lichtbogen in Niederspan-
nungs-Installationen als Folge von Stoss-
entladungen. Bull. SEV 1954, No.12
- 29) E. Schneider: Ein neuer 1 MV-Prüftransformator
mit Stabkern. Bull. SEV 1959, No.15
-