

Erfahrungen mit dem 2,4-MV-Freiluft-Stossgenerator der Versuchsstation Däniken der FKH 1958-1967

Autor(en): **Baumann, W.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins : gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **60 (1969)**

Heft 10

PDF erstellt am: **05.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-916143>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

Erfahrungen mit dem 2,4-MV-Freiluft-Stossgenerator der Versuchsstation Däniken der FKH ¹⁾ 1958 — 1967 ²⁾

Von W. Baumann, Däniken
2792 - 2802

621-319.53

Der vorliegende Bericht schildert die Erfahrungen, die seit 1958 mit einem Freiluft-Stossgenerator von 2,4 MV gemacht wurden, sowie Methoden zur Verbesserung der Betriebssicherheit. Diese bestehen im vorliegenden Falle zur Hauptsache darin, den ganzen Stossgenerator in einen Schutzzyylinder aus Polyester luftdicht einzuschliessen, mit teilweiser Klimatisierung des Raumes, sowie durch nur kurzzeitige Einstellung der Schaltfunkenstrecken.

Le présent rapport décrit les expériences acquises depuis 1958 avec un générateur de choc extérieur de 2,4 MV, ainsi que des méthodes pour l'amélioration de la sécurité de fonctionnement. Dans le cas particulier, ces dernières consistent essentiellement à enfermer le générateur de choc entier dans un cylindre de protection en polyester étanche à l'air, pourvu d'une climatisation partielle, ainsi que dans un réglage uniquement temporaire des éclateurs de commutation.

1. Einleitung

Im Jahre der Gründung der FKH, 1937, wurde in der Versuchsstation Däniken ein erster Freiluft-Stossgenerator erstellt (Fig. 1). Er bestand aus 4 Kabelrollen für 4×250 kV Ladespannung und 30 kW Energieinhalt. Während beinahe 20 Jahren diente diese Stossanlage für viele Stoßspannungs- und Stoßstromversuche und bewährte sich trotz sehr robuster Beanspruchung recht gut.

Als im Jahre 1954 die FKH beschloss, die Versuchsstation Däniken für die Prüfung von 400-kV-Material auszurüsten, bedingte dies auch die Erstellung einer neuen, leistungsfähigeren Stossanlage. Da kein Gebäude zur Verfügung stand, musste der neue Stossgenerator wieder für die Aufstellung im Freien vorgesehen werden.

Die Condensateurs Fribourg S.A. übernahm in der Folge den Auftrag, in Zusammenarbeit mit der FKH, einen Freiluft-Stossgenerator für 2,4 MV Ladespannung und einem Energieinhalt von vorläufig 50 kW zu projektieren und auszuführen.

2. Beschreibung der Erstauführung des Freiluft-Stossgenerators von 2,4 MV

Die Gesamtansicht des neuen Stossgenerators (Baujahr 1958) zeigt Fig. 2. Auf einem Fundament von $3,3 \times 5,7$ m Grundfläche erhebt sich ein Turm mit 16 Stufen (Etagen) von

¹⁾ FKH = Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen.

²⁾ Vortrag, gehalten an der Mitgliederversammlung der FKH vom 21. November 1968.

total 11 m Höhe. Die mechanische Festigkeit wird durch starre Rahmen aus Hohlprofilen und je vier kräftige Porzellanstützer pro Stufe erreicht. Verstrebungen oder Abspannungen sind keine vorhanden.

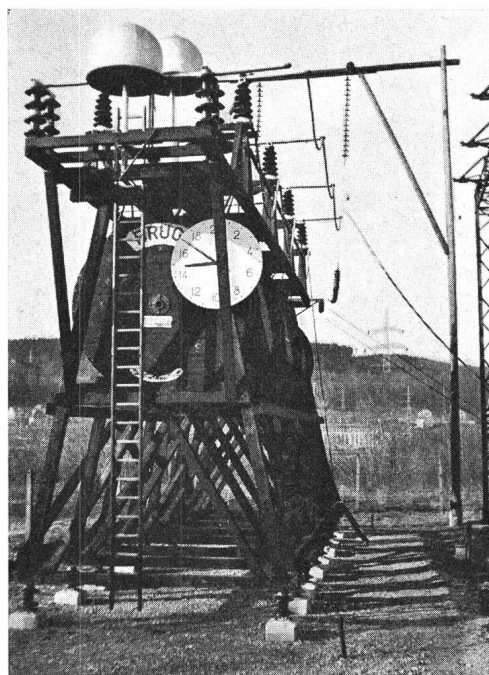


Fig. 1

Erster Freiluft-Stossgenerator in der Versuchsstation Däniken der FKH
Baujahr 1937 (1 MV, 30 kW)

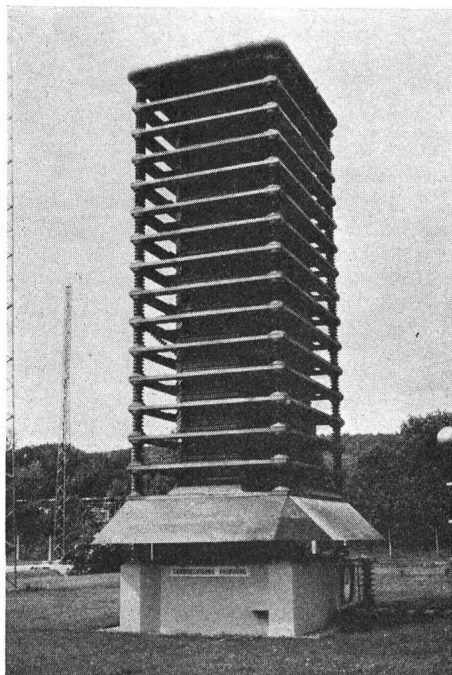


Fig. 2
Freiluft-Stossgenerator 2,4 MV, 50 kWs
Baujahr 1958

In elektrischer Beziehung stellt der Freiluftbetrieb besondere Anforderungen, vor allem an die Stufenisolation und die Schaltfunkenstrecken.

Der aktive Teil des neuen Generators mit seinen Kondensatoren, Schaltfunkenstrecken, Lade- und Dämpfungswiderständen, entspricht der üblichen Marx-Schaltung für Span-

nungsvervielfachung (Fig. 3). Die totale Ladespannung von 2,4 MV wird mit 16 Stufen von 150 kV Ladespannung erzeugt. Dem Energieinhalt von 50 kWs entspricht eine Kapazität von 0,27 μF pro Stufe.

Die Kondensatoren wurden als Kesseltyp (145 cm Länge, 45 cm Breite, 19 cm Höhe) ausgeführt. Ein Pol ist über eine Araldit-Durchführung herausgeführt, der andere mit dem Gehäuse verbunden. Pro Stufe sind je 2 Kondensatoren von 0,54 μF und 75 kV Nennspannung (150 kV Prüfspannung) in Serie geschaltet.

Für einen späteren Ausbau auf doppelte Energie d. h. auf 100 kWs, ist pro Etage Platz für zwei weitere Kondensatoren vorhanden. Obwohl vor allem für die Erzeugung hoher Spannungen vorgesehen (Serieschaltung) kann der Stossgenerator auf 2, 4 und 8 serie-parallele oder 16 parallele Stufen umgeschaltet auch für Stoßstrom-Versuche verwendet werden.

An zwei Tragsäulen aus Hartpapier sind 16 Schaltfunkenstrecken, bestehend aus Kugeln von 150 mm Durchmesser, montiert. Durch Drehen der einen Säule mit Spindel und Hebelarm lässt sich die Schlagweite einstellen. Die Kugeln der zweiten Säule können für das Parallelschalten der Stufen einzeln zurückgeklappt werden. Diese Schaltfunkenstrecken wurden in einem aus Skobalit- und Plexiglasverschaltungen gebildeten Raum angeordnet. Die nötige Stufenhöhe (Etagenabstand) und die günstigste Form der Verschaltungsteile wurden durch Stoßversuche an Konstruktionsteilen in natürlicher Grösse bestimmt.

Für die Dämpfungswiderstände R_s (Seriewiderstände) von 1 Ω pro Stufe (später 10 Ω) wurden Kohlewiderstände verwendet. Die 12 k Ω Lagewiderstände R_L waren drahtgewickelt, wurden später aber auch durch Kohlewiderstände ersetzt.

Für die mit anderen elektrischen Vorgängen zu synchronisierende Auslösung des Stosses ist vor der ersten Stufe ein Trigatron (Kugelfunkenstrecke mit eingebauter Hilfsfunkenstrecke) als Erdungsfunkenstrecke F_E montiert. Durch einen Zündimpuls aus einem Auslösegerät kann die Hilfsfunkenstrecke gezündet werden, wodurch auch die Funkenstrecke F_E anspricht und das Durchzünden des Generators einleitet. Bei der benützten Schaltanordnung hat der Stoss die umgekehrte Polarität der Ladespannung.

Als Ladegleichrichter war für 150 kV/30 mA z. Z. des Baues leider nur ein Typ, mit nur einer Hartpapier-Durchführung für volle Span-

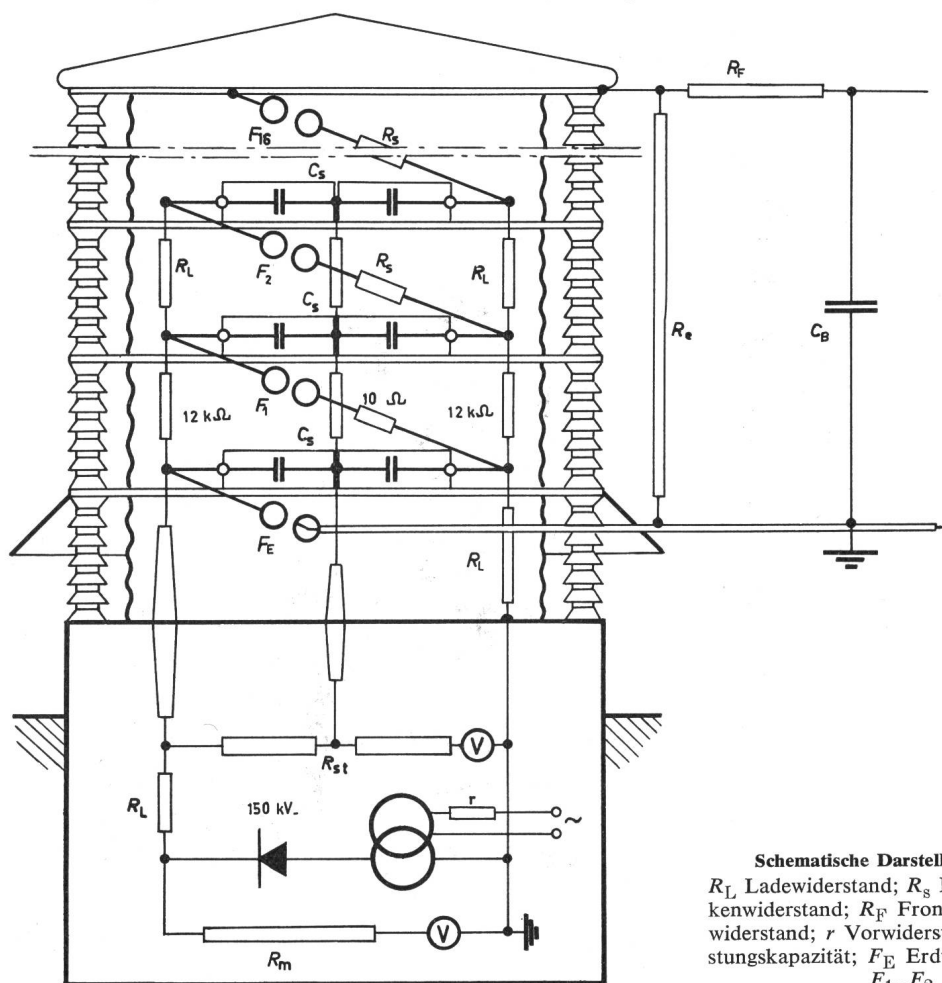


Fig. 3
Schematische Darstellung des Freiluft-Stossgenerators von 2,4 MV
 R_L Ladewiderstand; R_s Dämpfungswiderstand; R_e Entlade- oder Rückwiderstand; R_F Frontwiderstand; R_{st} Steuerwiderstand; R_m Messwiderstand; r Vorwiderstand; C_s Stufen-Kapazität, 0,27 μF ; C_B Belastungskapazität; F_E Erdungs- oder Auslösefunkenstrecke (Trigatron); $F_1 \dots F_2, F_{16}, F_n$ Schaltfunkenstrecken

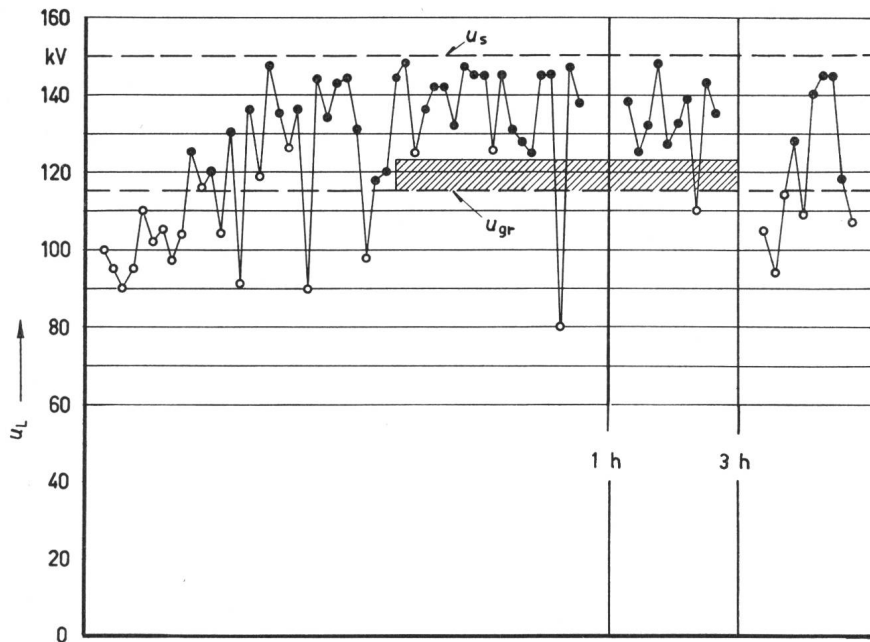


Fig. 4
Streuung der Ansprechspannung der Schaltfunkenstrecken vor dem Umbau
 ● Stoss; ○ kein Durchzünden
 Schlagweite $s = 6$ cm
 u_L Ladespannung
 u_s Soll-Ansprechspannung; u_{gr} Auslösegrenze des Generators

Bemerkung: Die vertikalen Striche zeigen die Pausen zwischen den Messserien. Innerhalb der Messserien folgen sich die Entladungen in Intervallen von ca. 1 min

nung und mit dem zweiten Pol an Erde erhältlich, was sich in der Folge für Freiluftbetrieb als ungeeignet erwies.

Der Ladespannungs-Messwiderstand R_m befindet sich im ölgefüllten Gleichrichteressel, der Steuerwiderstand R_{st} , der Antrieb für die Schaltfunkenstrecken und die Luftheizung sind im Fundamentkeller gut zugänglich untergebracht.

3. Betriebserfahrungen 1958—1967

Während der nun folgenden Betriebsjahre zeigten sich einige den Betrieb zeitweise stark behindernde Erscheinungen, die im einzelnen beschrieben werden, da sie auch andere Freiluftlaboratorien interessieren dürften.

3.1 Fehlsprechungen einzelner Schaltfunkenstrecken

Beim Aufladen des Generators, vor allem bei Ladespannungen von 80...150 kV ($s \geq 30$ mm) und nach Betriebspausen von Stunden oder Tagen, traten an den 16 Schaltfunkenstrecken ab ca. 60 % der eingestellten Spannung Ansprechungen auf. Der Betrieb war oft erst möglich, nachdem die Funkenstrecken durch viele Fehlsprechungen allmählich formiert waren. Der Verlauf der Ansprechspannung bei einem der vielen Versuche zur Abklärung der Streuung ist aus Fig. 4 ersichtlich. Sehr oft blieb für die Auslösung von präzisen Stößen, d. h. Stößen genau im gewünschten Zeitpunkt und mit genauer Amplitude, nur ein schmaler Spannungsbereich (schraffierte Fläche in Fig. 4) zwischen der Auslösegrenze u_{gr} und der Fehlergrenze. Im vorliegenden Beispiel mit einer Soll-Ansprechspannung u_s von ca. 150 kV, hätten nur bei einer Ladespannung von ca. 120 kV genaue Stöße ausgelöst werden können. Aus den Gesamtergebnissen der Versuche ergab sich mit ziemlicher Sicherheit, dass feine Staubteilchen in der Luft und auf den Elektroden die hauptsächliche Ursache der Fehlsprechungen waren. Durch die Spalten der nicht luftdicht gebauten Verschalung gelangte Staub in den Schutzraum der Funkenstrecken, der dann nicht mehr ins Freie entweichen konnte. Dies führte nach kurzer Zeit zu merklicher Verschmutzung des Raumes. Die Raum-

luft beruhigte sich selten soweit, dass sich der Staub in genügendem Masse absetzen konnte. Zudem wurde er durch Glimmen an Konstruktionsteilen, die infolge der asymmetrischen Ladespannung unter Spannung kamen, aufgeladen. Die Luftbewegung und die elektrostatischen Kräfte ließen den Staub fast unfehlbar in die Schlagweite und auf die Elektroden gelangen.

Auch die Luftfeuchtigkeit beeinflusste die Streuung. Bei sehr trockener und sehr feuchter Luft (relativ und absolut) war eine merkliche Zunahme der Fehlsprechungen zu beobachten. Der Grund: Bei trockener Luft ist mehr Staub in der Luft, bei sehr feuchter Luft kann sich auf den Kugeln eine feine Kondenswasserschicht bilden.

Als Abhilfe wurde versucht, die Verschalung besser abzudichten. Die vielen Durchdringungen mit Konstruktionsteilen des Gerüsts waren jedoch nicht dicht zu bringen. Zeitraubende Reinigung des Raumes war eine unumgängliche Massnahme, um den Betrieb zu ermöglichen, aber auch Luftbefeuchtung oder Trocknen der Kugeln mit Warmluft wurde angewendet.

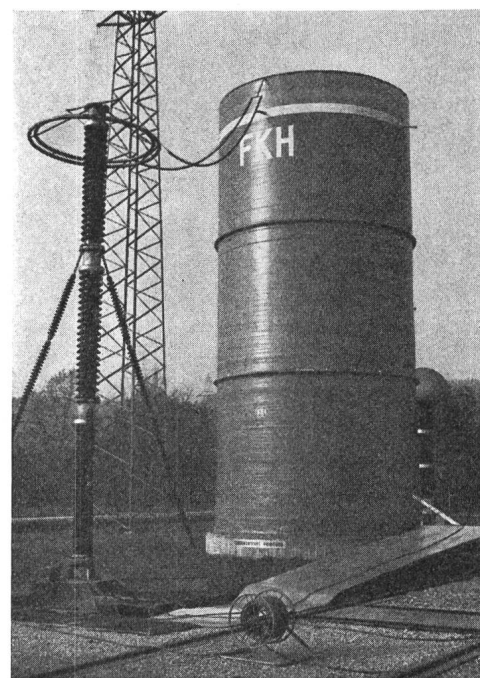


Fig. 5
Freiluft-Stossgenerator 2,4 MV in Schutzzyliner aus Polyesterharz mit Glasfasereinlagen (transparent)
 Durchmesser: 5,3 m; Gesamthöhe: 12,35 m

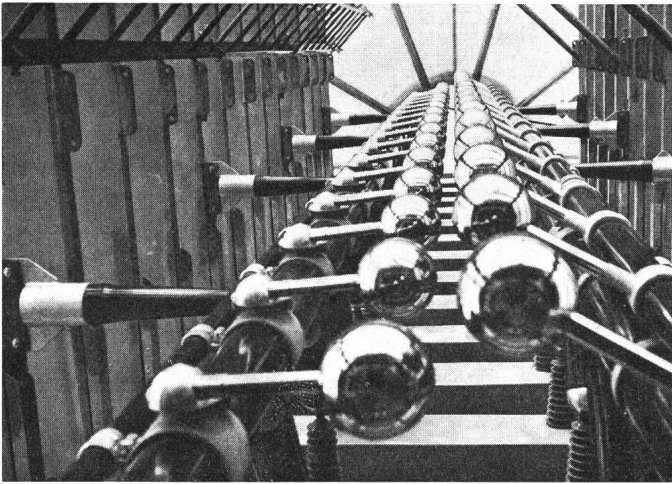


Fig. 6
Ansicht der 16 Schaltfunkenstrecken von unten

3.2 Widerstandsdefekte

Wird beim Fehlansprechen einer Schaltfunkenstrecke kein Durchzünden aller Funkenstrecken des Generators eingeleitet (Ladespannung noch unter der Auslösegrenze u_{gr}), so entladen sich alle Kondensatoren über die gezündete Funkenstrecke und über die Ladewiderstände. Die am nächsten bei der Funkenstrecke liegenden Widerstände werden dadurch thermisch stark beansprucht, besonders bei z. T. paral-

lel geschalteten Kondensatoren. Die drahtgewickelten Ladewiderstände hielten dieser Beanspruchung nicht lange stand und wurden deshalb durch Kohlewiderstände (leicht spannungsabhängig) ersetzt. Solche keramischen Widerstände weisen eine viel grössere thermische Kapazität auf und sind bei kurzzeitiger Überlastung nicht gefährdet. Die damit gemachten Erfahrungen sind sehr gut.

3.3 Unsymmetrische Aufladung der Kondensatorhälften

Der asymmetrische Ladegleichrichter bedingte, dass die Mitte der beiden seriengeschalteten Kondensatoren pro Stufe sich beim Aufladen auf halber Ladespannung befindet, ebenso die damit verbundenen Eisenrahmen.

Bei starkem Regen oder bei sehr feuchter Luft (Nebel) konnten die beiden Kondensatoren einer Stufe als Folge der Benetzung der Isolation der untersten Etage nicht mehr gleich stark geladen werden. Der auftretende Ableitstrom genügte, um eine störende Spannungsverschiebung des Mittelpunktes der Serieschaltung zu verursachen. Als Abhilfe wurde der unterste Teil des Gerüsts mit grossen Vordächern versehen. Weiter wurde zur Steuerung der Spannungsverteilung ein relativ niederohmiger Steuerwiderstand R_{st} von $200\text{ M}\Omega$, mit Anzapfung bei $110\text{ M}\Omega$, eingebaut. Mit einem zweiten Voltmeter konnte damit zugleich die Spannungsverteilung überwacht werden. Bei sehr ungünstiger Witterung war trotzdem ein normaler Betrieb nicht mehr möglich.

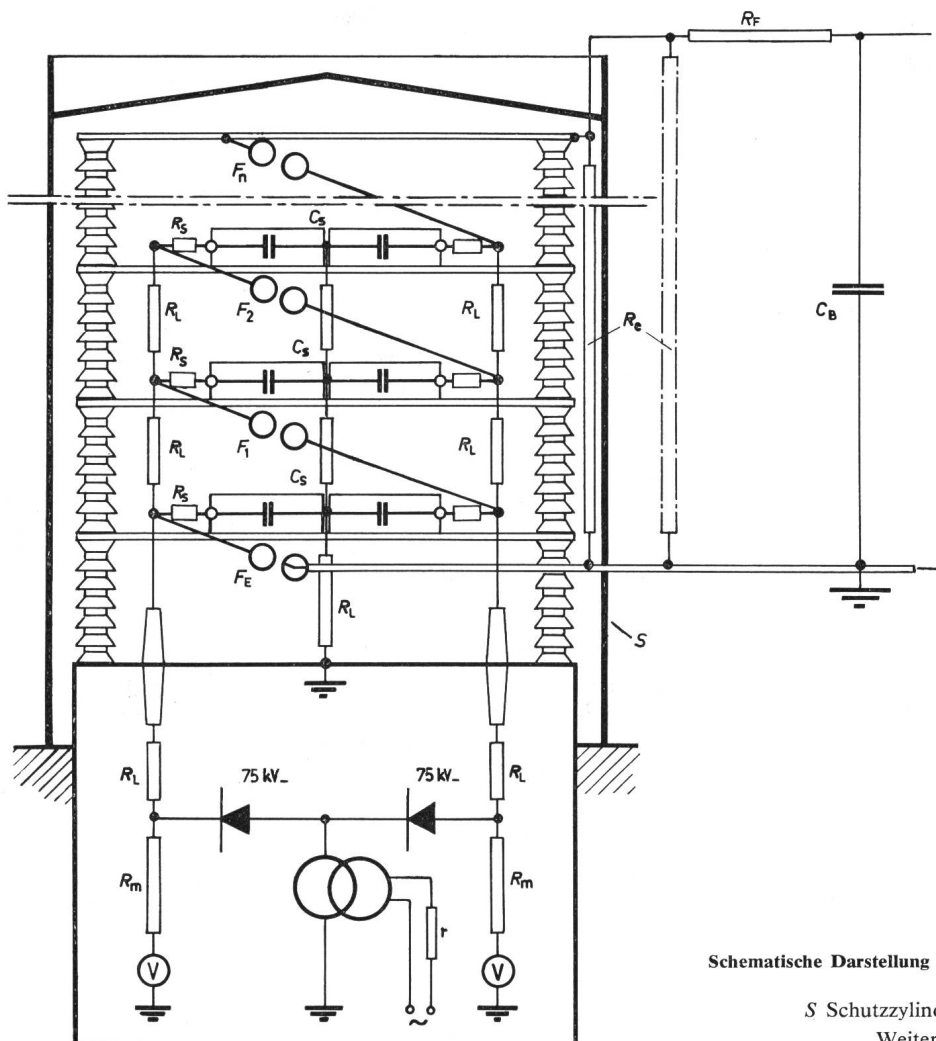


Fig. 7
Schematische Darstellung des Freiluft-Stossgenerators von 2,4 MV nach dem Umbau 1968

S Schutzzyylinder aus transparentem Polyesterharz
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 3

4. Umbau 1967/1968 des Stossgenerators

Nachdem es sich gezeigt hatte, dass die erwähnten Störungen durch die getroffenen Massnahmen nicht zu beheben waren, musste ein grösserer Umbau ins Auge gefasst werden.

Nach längerem Studium der verschiedenen Möglichkeiten konnten im Herbst 1967 die folgenden Änderungen in Angriff genommen werden:

- Luftdichter, wetterfester Schutzzyylinder; Luftreinigung.
- Antrieb und Anordnung der Schaltfunkenstrecken; Lade- und Dämpfungswiderstände.
- Ladegleichrichter-Anlage für symmetrische Ladespannung gegen Erde.

4.1 Luftdichter, wetterfester Schutzzyylinder; Luftreinigung

Als die den verschiedenen Anforderungen am besten entsprechende Lösung erwies sich der Einbau des gesamten Stossgenerators in einen luftdichten Schutzraum.

Zur Ausführung gelangte ein dreiteiliger Schutzzyylinder aus transparentem Polyesterharz mit Glasfasereinlagen von 5,3 m Durchmesser, 11,8 m Höhe und 6...9 mm Wandstärke (Fig. 5). Die drei Rohre von obigem Durchmesser wurden beim Hersteller als zylindrische Rohrstücke ohne Flanschen gewickelt und nierenförmig zusammengedrückt zur Versuchstation transportiert, was auf einem normalen Strassenfahrzeug möglich war.

Die Kunststoff-Flanschen und das konische Dach wurden in der Versuchstation hergestellt bzw. zusammengesetzt. Das dicht eingeklebte Dach ist begehbar und hat eine dicht verschliessbare Dachluke von 1,6 m Durchmesser.

Die drei Teilzylinder von 1...1,3 t Gewicht können mit dem Anlagekran über den Stossgenerator gestülpt und mit Kunststoffschrauben luftdicht zusammengefügt werden.

Der Schutzzyylinder ist selbsttragend, sturmsicher gebaut (keine Abspannungen), und auf dem erweiterten Fundament luft- und staubdicht verankert. Durch 4 Gummipuffer an der obersten Etage des Stossgenerators ist er noch zusätzlich auf das Gerüst des Generators abgestützt.

Da gegen die Verwendung von Polyesterharz mit Glasfasern als Material für den Schutzzyylinder Bedenken bestanden und der Hersteller keine Erfahrungswerte in bezug auf das Verhalten des elektrischen Widerstandes bei Freiluftaufstellung besass, mussten Vorversuche durchgeführt werden. Sie bestanden darin, Muster aus verschiedenen Stoffen während ca. 2 Monaten in Wasser mit einem spez. Widerstand von 11 k Ω cm zu lagern, wobei die Änderung des Widerstandes bei 150 kV Gleichspannung festgestellt wurde. Das für die Ausführung vom Hersteller vorgeschlagene «Corroben 118» erwies sich als am besten geeignet.

Mit einem spez. Widerstand von noch 4700 M Ω cm nach einer Prüfdauer von 7 Wochen ergibt sich für die Höhe einer Stossgeneratorstufe ein Widerstand von 170 M Ω . Da am Polyester nur Stoßspannung auftritt, bietet dieser Wert reichliche Sicherheit.

Die Deckschicht des Polyesters ist stark wasserabstossend; es kann somit erwartet werden, dass bei periodischer Erneuerung des Lackes die elektrischen Eigenschaften dauernd den Anforderungen genügen werden.

Von einer vollständigen Klimatisierung des Schutzraumes wurde vorläufig abgesehen. Eingebaut ist z. Z. ein einfaches Luftumwälzsystem geringer Leistung mit feinem Staubfilter sowie eine Heizung. Die Bildung von Kondenswasser wird durch Heizen und Ventilieren verhindert.

4.2 Änderungen an den Schaltfunkenstrecken, den Lade- und Dämpfungswiderständen

Die zur Abklärung der Streuung der Schaltfunkenstrecken durchgeführten Versuche ergaben eine Zunahme der Fehlansprechungen bei grösserer Schlagweite, aber auch bei längerer Dauer der angelegten Spannung. Durch kurze Dauer der Spannung an den Funkenstrecken wird somit die Wahrscheinlichkeit von Fehlansprechungen kleiner. Als zusätzliche Massnahme zur Erhöhung der Betriebssicherheit wurde diese Erscheinung mit folgender Einrichtung ausgenützt:

4.2.1. *Kurzzeitige Schaltfunkenstrecken-Einstellung.* Eine sehr einfache Vorrichtung, bestehend aus einem Schneckengetriebe mit Exzenter und Motor, stellt in einigen Zehntels-

die 16 Schaltfunkenstrecken von sehr grosser Distanz auf den vorgewählten Kugelabstand ein (Fig. 6) und löst in diesem Moment das Synchronisiergerät aus. Dieses besorgt dann die Auslösung des Oszillographen und des Zündimpulses für das Trigatron, worauf die Funkenstrecken sofort wieder weit geöffnet werden. Die Stossauslösung kann wahlweise auch ohne Auslösung des Synchronisiergerätes nur durch Nähern der Kugeln bis zum natürlichen Ansprechen der Funkenstrecken eingeleitet werden.

Mit dieser kurzzeitigen Kugeleinstellung ist eine unbeabsichtigte Auslösung des Stosses vor dem Erreichen der gewünschten Ladespannung ausgeschlossen.

4.2.2 *Abschirmungen.* Als weitere Massnahme zur Erhöhung der Betriebssicherheit wurden die Kugelbefestigungen sowie die Lade- und Dämpfungswiderstände durch Abrunden und Abschirmungen möglichst glimfrei gemacht. Bessere Platzausnützung innerhalb der Rahmen infolge Wegfalls der Skobalit-Verschalung ergaben grössere Distanzen und damit kleinere Feldstärken (Fig. 6).

4.2.3 *Trigatron.* Die symmetrische Ladespannung bedingte eine Änderung des Trigatron-Antriebes, weil die nur noch auf halber Ladespannung befindliche Funkenstrecke zum Ansprechen gebracht werden muss. Mit einer Nockenscheibe wird die Schlagweite des Trigatrons auf die halbe Ansprechspannung der Schaltfunkenstrecken eingestellt. Als Rückleitung vom geerdeten Spannungsteiler zum Trigatron wurde zur Verminderung der Induktivität ein 1,5 m breiter Eisenblechstreifen verlegt.

4.2.4 *Stufenisolation.* Für den vorgesehenen Ausbau des Generators zur Erzeugung von höheren Schaltüberspannungen wurde die Stufenisolation verstärkt durch U-förmige Abdeckungen an den Kondensatoren aus Hart-PVC.

4.2.5 *Zugänglichkeit.* Die 16 Stufen des Generators sind über eine feste Leiter aus Isoliermaterial sicher zugänglich, längs welcher 4 aufklappbare Podeste die bequeme Kontrolle aller Teile und die Serie-Parallel-Umschaltung erlauben.

4.3 Ladegleichrichter für symmetrische Ladung der zwei Kondensatoren pro Stufe

Der bisher verwendete Ladegleichrichter mit einem Pol an Erde wurde ersetzt durch einen 110 V/80 kV Spannungswandler als Transformator und zwei luftgekühlte Selengleichrichter für 30 mA mit je 233 kV Sperrspannung. Aus Fig. 7 ist das Schema der neuen Ladeanlage ersichtlich. Mit dieser Anordnung bleiben die Gehäuse der Kondensatoren und das Eisengerüst während des Aufladens praktisch spannungslos. Eine Spannungsverschiebung der Serieschaltung durch einseitige Ableitung, wie auch das Aufladen des allfällig vorhandenen Staubes wird damit vermieden. Die Messung der beiden Ladespannungshälften (+ 75 kV/— 75 kV) erfolgt mit zwei Messwiderständen in Öl von je 200 M Ω , das Wechseln der Stospolarität durch Umschalten der beiden Selengleichrichter mit einem ferngesteuerten Motorgetriebe.

5. Erfahrungen mit dem umgebauten Stossgenerator

5.1 Luftdichter Schutzzyylinder, Luftreinigung und Trocknung

Die Bedeutung der luftdichten Verschalung der Funkenstrecken kommt drastisch zur Geltung, wenn durch Öffnen

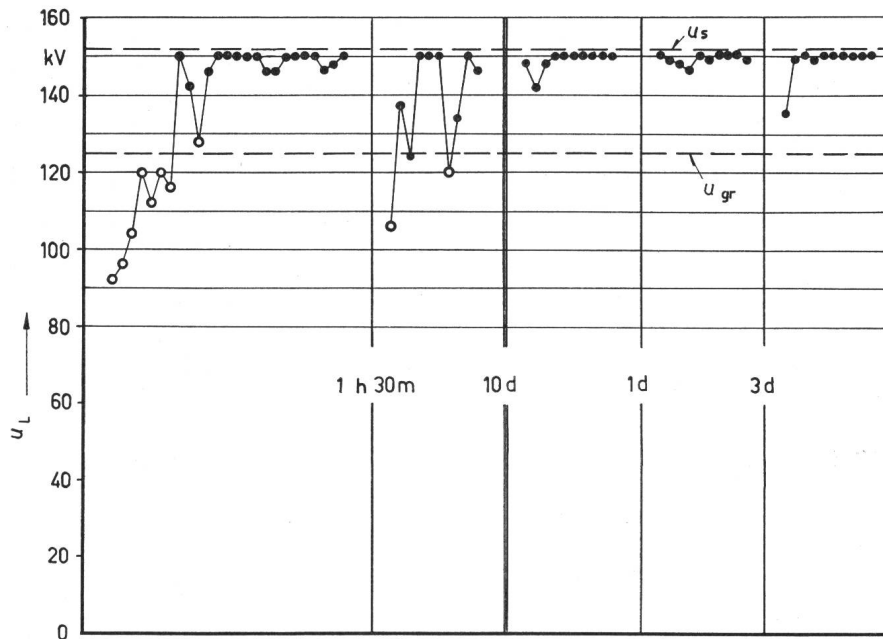


Fig. 8
 Streuung der Ansprechspannung der Schaltfunkenstrecken nach dem Umbau
 ● Stoss ○ kein Durchzünden
 Schlagweite $s = 6$ cm
 u_L Ladespannung; u_s Soll-Ansprechspannung;
 u_{gr} Auslösegrenze des Generators
 Bemerkung siehe Fig. 4

der Boden- und Dachlücken etwas staubhaltige Luft aus dem Laderaum nach oben in die Schlagweite der Schaltfunkenstrecken gelangt. Es treten dadurch sofort Fehlansprechungen auf. Die Streuung der Ansprechspannung der 16 parallelen Schaltfunkenstrecken ist ein Mass für die Reinheit der Luft im Schutzraum.

Der Verlauf der Ansprechspannung bei den Versuchen nach dem Umbau, sofort nach der Montage und nach 10...14 Tagen ist in Fig. 8 dargestellt. Die Raumluft wurde während dieser Zeit dauernd umgewälzt und filtriert; der Raum aber auch für die Ausführung von Messungen öfters betreten.

Bei einer fest eingestellten Schlagweite von 6 cm, mit einer Soll-Ansprechspannung u_s von ca. 152 kV traten bei noch nicht genügend gereinigter Luft Fehlansprechungen ab 90 kV Ladespannung auf. Nach wenigen Ansprechungen nahm aber die Ansprechspannung rasch zu (Formierung). Die letzten Mess-Serien ergaben eine Grenze der Fehlansprechungen, die nur noch einige kV unter der Soll-Ansprechspannung der

Funkenstrecken liegt. Konnte 150 kV Ladespannung erreicht werden, so wurde die Ladung abgeschaltet. Es traten dann nach ca. 1...30 s Stossauslösungen auf, oder die Spannung wurde gehalten.

Die Auslösegrenze für die Trigatronauslösung liegt im vorliegenden Fall bei ca. 125 kV Ladespannung; damit können im Auslösebereich von ca. 130...145 kV Ladespannung sichere und genaue Stossauslösungen ausgeführt werden.

Das Reinigen der Raumluft dauert mit der z. Z. verwendeten Einrichtung geringer Leistung längere Zeit. Das Trocknen der Luft mit Ventilieren und Heizen ist nur möglich, wenn relativ trockene Frischluft zur Verfügung steht. Die Erfahrung wird zeigen, ob damit jederzeit ein ungestörter Betrieb möglich ist.

5.2 Änderung des Schaltfunkenstrecken-Antriebes

Das Verhalten der nur kurzzeitig eingestellten Schaltfunkenstrecken wurde mit ausführlichen Versuchen abgeklärt.

Einige Messresultate sind in Fig. 9 dargestellt. Die Versuche ohne Trigatronauslösung (A in Fig. 9) zeigen, dass durch rasches Nähern der Kugeln aus sehr grosser Distanz bis zum Ansprechen, auch bei schlecht gereinigter Luft noch sichere Stossauslösung (Durchzünden) erreicht wird. Dies ist deshalb möglich, weil dabei die Schlagweite der Schaltfunkenstrecken unter die Auslösegrenze verkleinert wird, bevor eine Fehlansprechung entstehen kann. Die damit ausgelösten,

nicht synchronisierten, aber in der Amplitude genauen Stösse genügen, bei der Verwendung eines Verzögerungskabels für die Messung mit dem Oszillographen, für viele Prüfungen vollauf.

Die ersten Versuche mit synchronisierter Trigatronauslösung (B in Fig. 9) ergaben bei den jeweils ersten Auslösungen nach Betriebspausen von Stunden oder Tagen einige nicht synchrone Stösse. Die Fehlansprechungen treten in diesen Fäl-

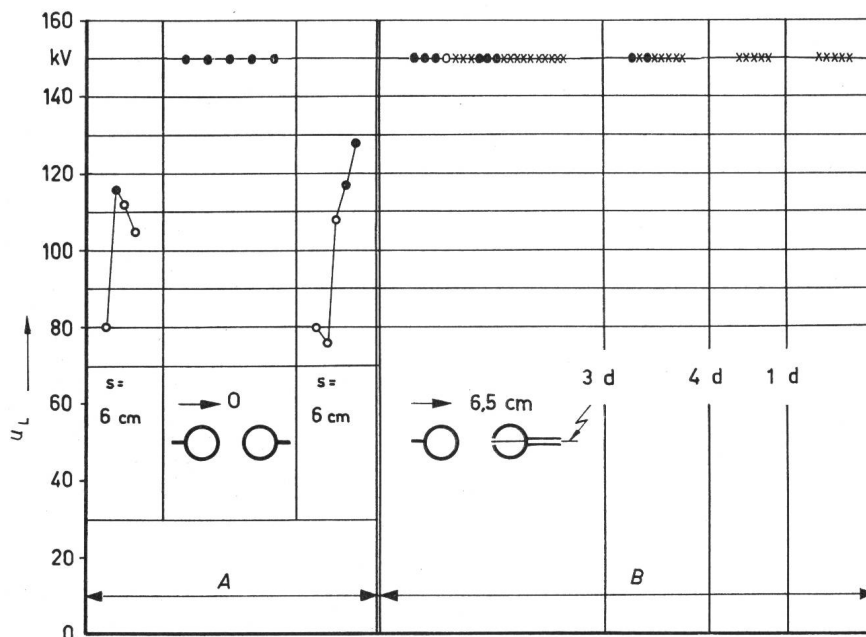


Fig. 9
 Stossauslösung bei kurzzeitiger Kugeleinstellung
 x synchroner Stoss
 ● nicht synchroner Stoss
 ○ kein Durchzünden
 A ohne Trigatron-Auslösung; B mit Trigatron-Auslösung; s Schlagweite; u_L Ladespannung
 Bemerkung siehe Fig. 4

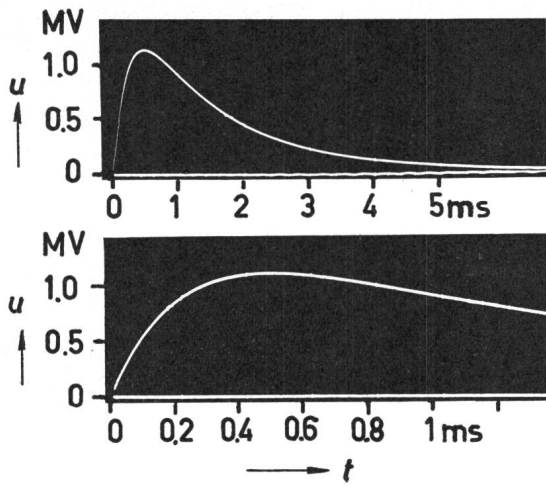


Fig. 10
Oszillogramm-Beispiel
Stoßspannung 500|1600 μ s (Schaltüberspannung)
 u Spannung; t Zeit

len zeitlich noch kurz vor dem synchronisierten Zündimpuls des Trigratrons auf. Bei reiner Luft wird dann auch der jeweils erste Stoß synchron ausgelöst. In jedem Fall ist bei kurzzeitiger Funkenstrecken-Einstellung die im praktischen Betrieb sehr wertvolle Sicherheit vorhanden, dass auch bei voll geladenem Generator und evtl. längerer Wartezeit bis zur Auslösung, kein unbeabsichtigter Stoß auftreten kann.

5.3 Symmetrische Ladespannung

Die symmetrische Ladung der zwei Kondensator-Hälften des Generators mit der neuen Gleichrichter-Anlage wurde durch Versuche bei starkem Regen und Nebel getestet. Sie unterscheidet sich erwartungsgemäß nicht mehr von derjenigen bei Innenraum-Aufstellung, d. h. sie ist nun vollständig wetterunabhängig. Ein Nachteil der symmetrischen Spannung gegen Erde ist der reduzierte Spannungssprung beim

Ansprechen des Trigratrons. Der Auslösebereich wird dadurch ca. 25 % kleiner.

6. Grenzspannungen des Generators

Mit dem beschriebenen Umbau war keine Erhöhung der Grenzspannungen des Generators verbunden. Der bei voller Ladespannung von 150 kV erreichbare Scheitelwert der Stoßspannungswelle 1|50 μ s beträgt 2000 kV (Scheitelwert), bei einer Belastungskapazität C_B von ca. 500 pF.

Die Erzeugung von Stoßspannungen mit 500 μ s effektiver Frontzeit (Zeit bis zum Scheitelwert) bzw. ca. 300 μ s nomineller Frontdauer, die bei der Projektierung noch nicht vorgesehen war, ist mit den z. Z. eingebauten Ladewiderständen bis 1100 kV (Scheitelwert) möglich (Fig. 10). Die Halbwertdauer beträgt dabei 1600 μ s. Bei 250 μ s eff. Frontdauer, bzw. ca. 150 μ s nomineller Frontdauer, können 1500 kV (Scheitelwert) erreicht werden. Der erreichbare Scheitelwert ist begrenzt durch die innere Entladezeitkonstante des Generators von ca. 1000 μ s. Die Verwendung von 2...4mal höheren Ladewiderständen wird erlauben, Schaltüberspannungen ebenfalls bis zu einem Scheitelwert von ca. 2000 kV (250 μ s Front) zu erzeugen.

7. Schlussfolgerungen

Der Bau eines Freiluft-Stoßgenerators bietet einige Sonderprobleme und erfordert gegenüber einem Generator für Innenraum gleicher Größe und Leistung einigen zusätzlichen Aufwand. Der Wegfall der Kosten für eine Halle machen aber die Freiluftprüfung trotzdem zu einer Lösung, die sich für Höchstspannungs-Laboratorien in vielen Fällen durchsetzen wird, dies um so mehr, als auch die Höchstspannungs-Prüfobjekte stets für Freiluftbetrieb gebaut sind.

Adresse des Autors:

W. Baumann, dipl. Elektrotechniker, Versuchsstation der FKH, 4658 Däniken.

Ergänzung. Im Artikel «Zur Umwandlung des n-Eckes in einen n-strahligen Stern», von W. Herzog (erschieden im Bulletin des SEV Nr. 8/1969), wurden die Literaturangaben irrtümlicherweise weggelassen. Wir wollen dieses Versehen nachholen:

- [1] K. Küpfmüller: Einführung in die theoretische Elektrotechnik. 8. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag, 1965.
- [2] W. Herzog: Siebschaltungen mit Schwingkristallen. 2. Auflage. Braunschweig, Vieweg-Verlag, 1962.