

Universität der Bundeswehr München Professur für Hochspannungstechnik und Blitzforschung	
Hochspannungstechnisches Praktikum 2	Einführung in die Hochspannungs-Versuchstechnik
Versuch 1	

Versuch 1 dient zur Einweisung der Studierenden in die Versuchstechnik für das Praktikum Hochspannungstechnik. Besprochen werden die grundsätzliche Handhabung der vorhandenen Experimentiereinrichtungen, die zu beachtenden Sicherheitsbestimmungen sowie die technische Zielsetzung und die Auswerteverfahren der einzelnen Versuche.

Das Praktikum Hochspannungstechnik umfasst folgende 5 Versuche:

- 1 Einführung in die Hochspannungs-Versuchstechnik
- 2 Unvollkommener Luftdurchschlag
- 3 Messung von Kapazität, Verlustfaktor und Teilentladungen bei Wechselspannung
- 4 Stoßstromuntersuchungen an Überspannungsschutzelementen
- 5 Wanderwellenuntersuchungen.

Als Versuchsunterlagen für das Praktikum Hochspannungstechnik werden ausgegeben:

- Beschreibungen der Versuche 1 - 5
- Deckblätter zur Versuchsauswertung
- Terminplan
- Sicherheitsvorschriften

1. Aufbau der Experimentierstände

In den Laborräumen 2634 und 2644 Gebäude 35 des Instituts für Elektrische Energieversorgung an der Universität der Bundeswehr München stehen den Studierenden 8 Experimentierstände für die Durchführung des Praktikums Hochspannungstechnik sowie für selbständige experimentelle Untersuchungen im Rahmen von Studien- und Diplomarbeiten zur Verfügung.

Vier dieser Experimentierstände sind für Wechselspannung bis zu 100 kV, weitere vier für Wechselspannung bis zu 200 kV ausgelegt. Die Experimentierstände sind als Faraday-Käfige mit einer Federleisten-Zugangstüre ausgeführt, die Spannungsversorgung für die Experimentiereinrichtungen und die Raumbelichtung erfolgt über Funk-Entstörfilter. Falls erforderlich, können Messsignale über Durchführungen vom Experimentierstand nach außen übertragen werden.

Jeder Experimentierstand ist durch ein festes Metalldrahtgitter und eine Gitterschiebetür in ein **Hochspannungsfeld** und ein **Steuerfeld** unterteilt (Bild 1).

1.1 Hochspannungsfeld

Alle Versuche werden im Hochspannungsfeld mit geometrisch einheitlichen Bauelementen des Hochspannungs-Baukastens auf einem geerdeten Aluminiumgrundrahmen aufgebaut. Die erforderlichen Bauelemente werden in einem Regal an einer Seitenwand des Hochspannungsfelds aufbewahrt. Die Grundfläche des Hochspannungsfelds beträgt $3,3 \text{ m} \cdot 2,0 \text{ m}$ (100 kV) bzw. $4,3 \text{ m} \cdot 2,0 \text{ m}$ (200 kV).

Der Zugang zum Hochspannungsfeld erfolgt vom Steuerfeld über eine abschließbare Gitterschiebetür. Am oberen Türrahmen ist ein Kontaktbügel zum Einhängen der Erdungsstange angebracht. Das Warnlampenpaar (rot-grün) über der Gitterschiebetür zeigt den jeweiligen Betriebszustand der Anlage an.

Der Hochspannungs-Prüftransformator wird aus dem Steuerfeld über einen Stelltransformator (0...230 V) gespeist, der im Steuerpult eingebaut ist.

1.2 Steuerfeld

Die Spannungsversorgung für das **Steuerpult** erfolgt über den Netz-Anschlusskasten an einer Seitenwand des Steuerfelds. Zusätzlich sind im Netz-Anschlusskasten vier über FI-Schutzschalter abgesicherte Steckdosen sowie ein Druckluft-Anschluss für die Versorgung der pneumatisch zu bedienenden Elemente des Hochspannungsbaukastens installiert. Weiterhin befinden sich im Steuerfeld zwei Ablagetische, Halterungen für Messkabel und ein Geräteschrank für die Aufbewahrung von Messinstrumenten, Elektroden und Prüflingsmodellen.

Durch das Metalldraht-Schutzgitter zwischen Steuer- und Hochspannungsfeld wird eine Gefährdung der Studierenden durch hochspannungsführende Teile ausgeschlossen.

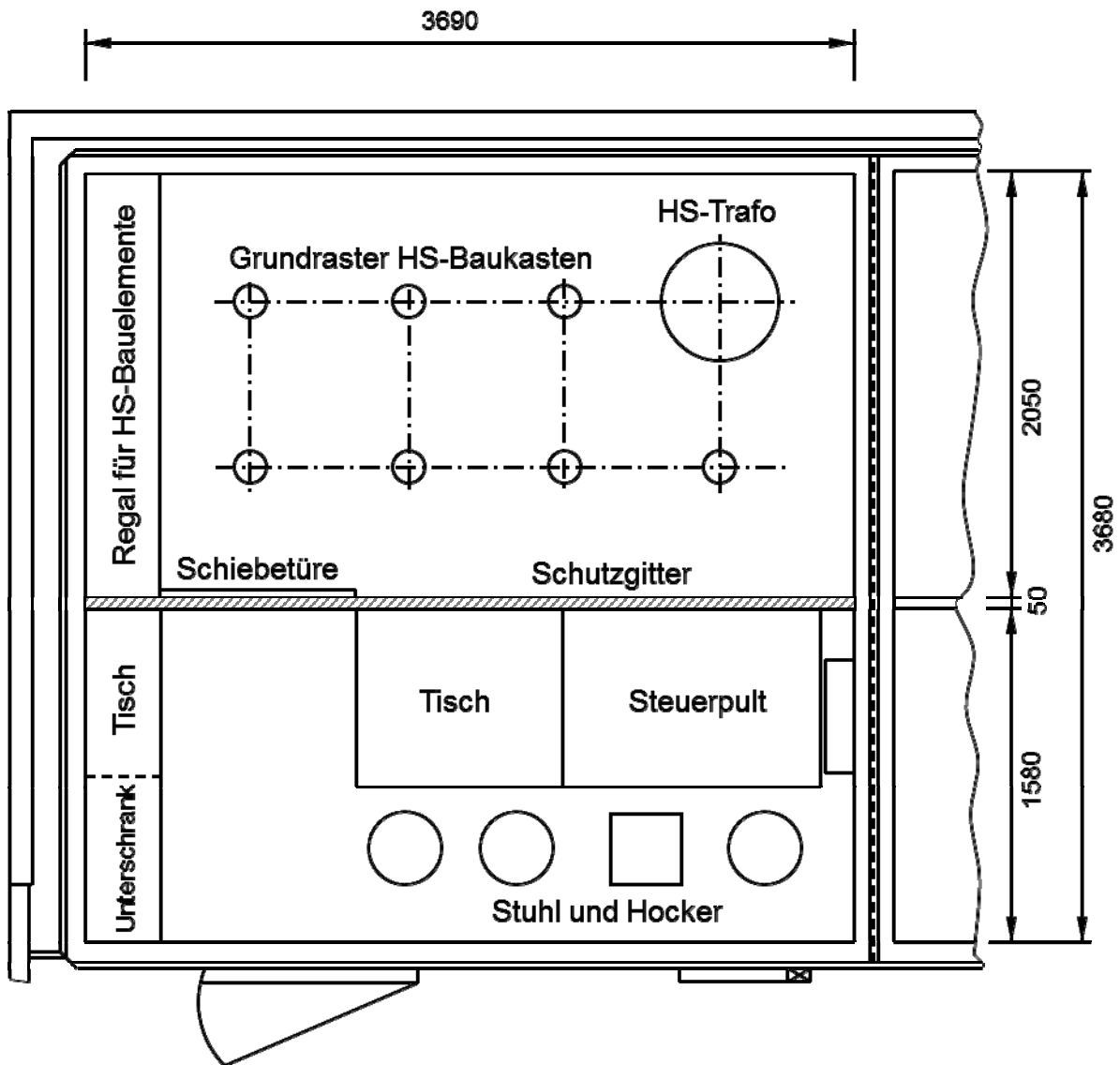


Bild 1: Grundriss eines 100 kV Experimentierstandes

2. Steuerpult

2.1 Bedienungselemente

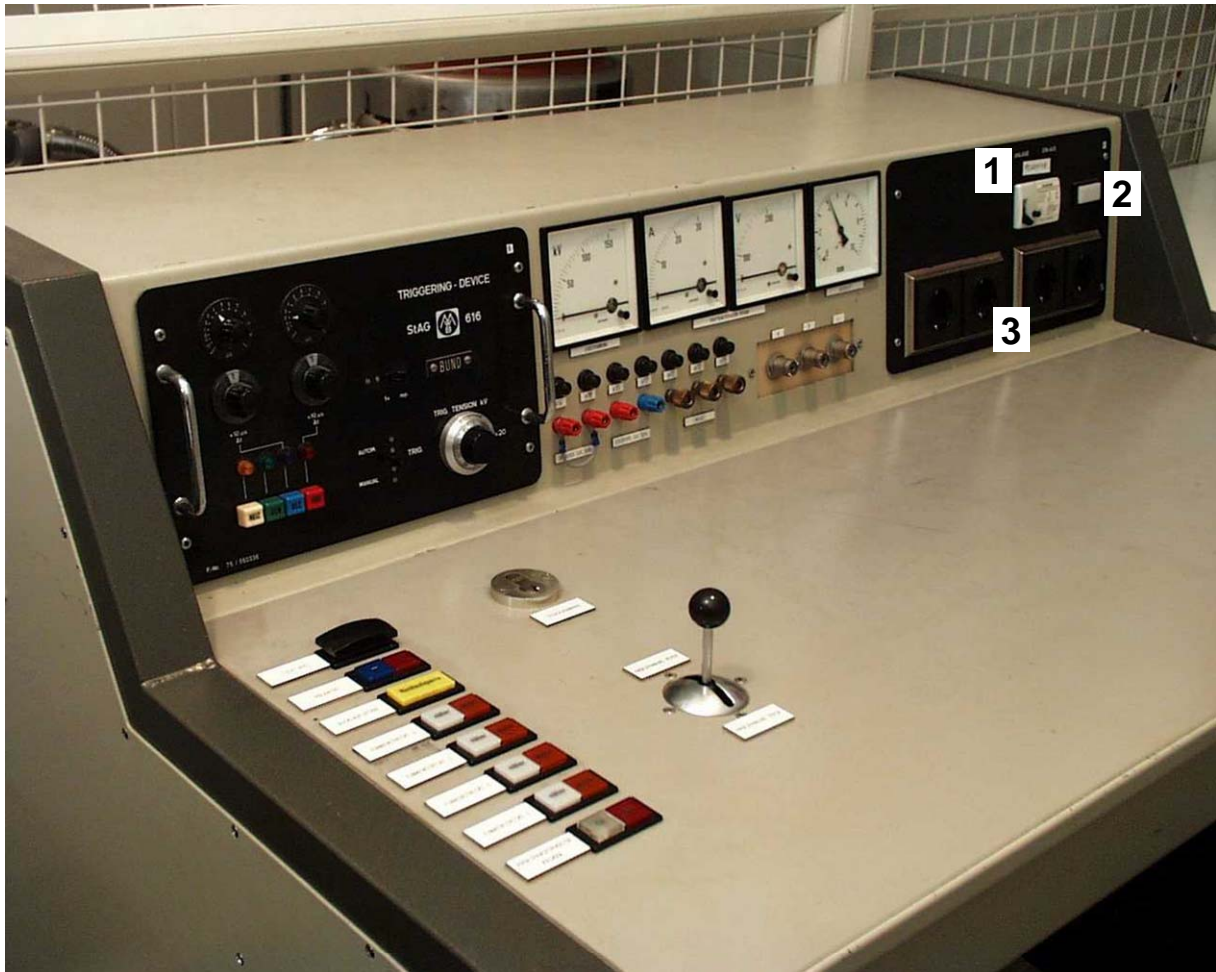
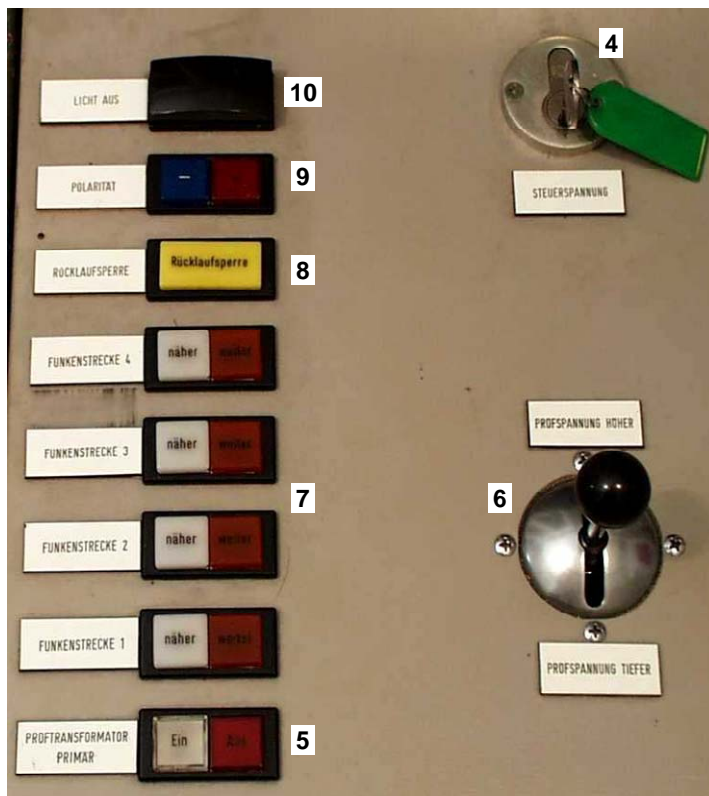


Bild 2: Ansicht des Steuerpultes

Mit dem **Hauptschalter (1)** (FI-Schutzschalter) wird die Netzspannung auf das Pult geschaltet, bei Schalterstellung "EIN" leuchten die weiße **Kontrolllampe (2)** und die **grüne Warnlampe** über der Schiebetür auf, gleichzeitig wird der 24 V-Steuerkreis für die Pneumatikventile gespeist. Unter dem Hauptschalter sind vier über FI-Schutzschalter abgesicherte **Steckdosen (3)** für den Anschluss von Messgeräten an Netzspannung angeordnet.

Mit dem **Schlüsselschalter (4)** wird bei geschlossener Gitterschiebetür und eingehängter Erdungsstange die Steuerspannung für das Hochspannungsfeld eingeschaltet. Danach leuchten die rote Warnlampe über der Schiebetür und die Pultbeleuchtung. Die **Erdungsschalter** öffnen sich.

Mit dem **Tastenpaar (5)** kann das Experimentierschütz, das die Verbindung zwischen Stell- und Prüftransformator herstellt, ein- und ausgeschaltet werden.



Der zweistufige **Kugelschalter (6)** steuert über einen Motor den Stelltransformator. In der Schnellstufe ändert sich die Hochspannung am Prüftransformator mit ca. 5 kV/s, in der Langsamstufe mit ca. 0,7 kV/s.

Der Abstand der Funkenstrecken 1 bis 4 kann mit den **Tastenpaaren (7)** über pneumatische Antriebe verändert werden, die mit konstanter Geschwindigkeit fahren. An jedem Funkenstreckenelement befindet sich ein 4-stelliger Zähler, an dem der eingestellte Kugelabstand abgelesen werden kann.

Bild 3: Bedienungselemente

Beim Abschalten des Hochspannungs-Prüftransformators läuft der Stelltransformator in die Nullstellung zurück. Ist dies nicht erwünscht, so kann durch Betätigen der **Taste (8)** "RÜCKLAUFSPERRE" (Lampe brennt) der Stelltransformator in jeder beliebigen Lage gehalten werden. Beim Wiedereinschalten des Prüftransformators steht dann die vorher eingestellte Spannung an.

Bei Untersuchungen, die völlige Dunkelheit erfordern, können sämtliche Warnlampen und Pultleuchten mit der **Taste (10)** gelöscht werden, solange die Taste gedrückt wird.

2.2 Anzeigeelemente

Das **μ A-Meter (11)** kann zur Anzeige der Ladegleichspannung verwendet werden (zusammen mit dem 140 M Ω -Messwiderstand R_m). Das **Tastenpaar (9)** dient zur Einstellung der Polarität der Spannungsanzeige. Im Hochspannungspraktikum wird jedoch in der Regel das genauere Gleichspannungs-Messgerät (μ A-Meter) verwendet (siehe Abschnitt 3.2). **Ampere- und Voltmeter (12)** zeigen Strom und Spannung am Ausgang des Stell- bzw. am Eingang des Hochspannungs-Prüftransformators an.

Am **Manometer (13)** kann man den Betriebsdruck für die pneumatische Steuerung ablesen

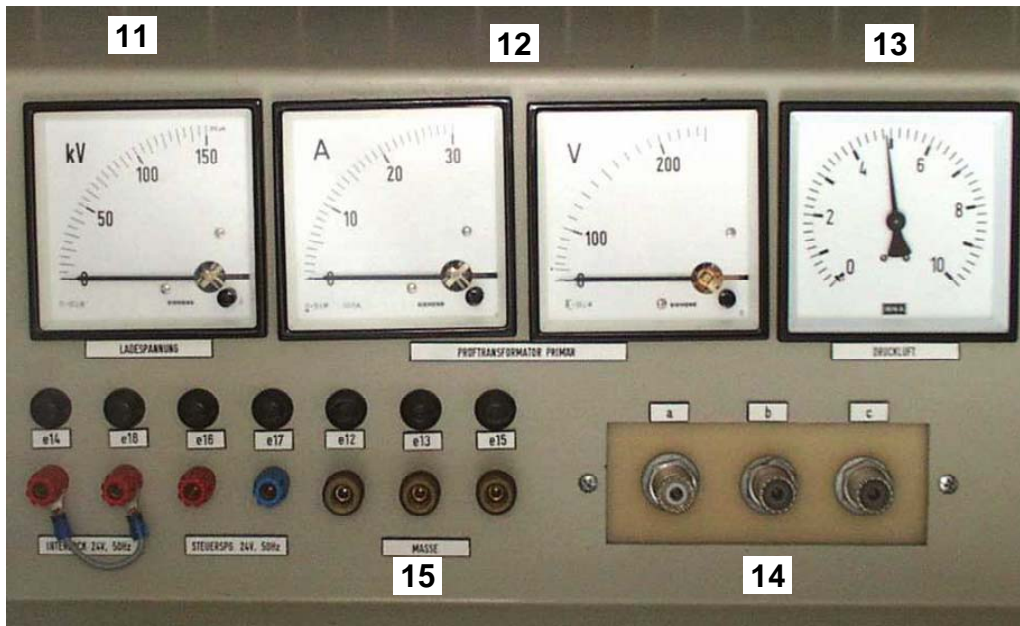


Bild 4: Instrumententafel am Steuerpult

Die drei mit a, b und c bezeichneten **UHF-Buchsen (14)** dienen zum Anschluss von zusätzlichen Messgeräten. Die Messleitungen sind durch das Pult hindurchgeschleift und treten an der Pultrückseite ebenfalls mit a, b und c gekennzeichnet wieder mit UHF-Buchsen aus. Die drei **Massebuchsen (15)** dienen zur Erdung zusätzlich angeschlossener Messgeräte.

2.2 Stoßauslöse-Einrichtung



Bild 5: Stoßauslösegerät StAG 616 im Steuerpult

Die Stoßauslöse-Einrichtung besteht aus folgenden Teilen:

- 1 Stoßauslöse-Gerät StAG 616 im Steuerpult
- 1 Zündverstärker StAV 72
- 1 Hochspannungskoppelkondensator 300 pF
- 1 Zündkugel mit Triggerelektrode

Bedienung des Stoßauslöse-Geräts:

- HEIZ (16):** Vorheizung der gesamten Stoßauslöse-Einrichtung (weiße Kontrolllampe brennt); die Vorheizzeit beträgt mehrere Minuten.
- GEN (17):** Nach Betätigen der Drucktaste und Aufleuchten der grünen Kontroll-Lampe ist die Triggerung des Stoßspannungsgenerators bereit.
- OSZ (18):** Triggerbereitschaft für einen Stoßoszillographen nach Tastendruck und Aufleuchten der blauen Kontroll-Lampe.
- Δt , OSZ (19):** Kontinuierliche Verstellmöglichkeit des Triggerzeitpunkts für einen Stoßoszillographen von $- 2 \mu\text{s}$ bis $100 \mu\text{s}$, bezogen auf den Auslösezeitpunkt des Stoßspannungsgenerators.
- TRIG. MANUAL (20):** Durch kurzes Drücken dieser Taste erfolgt die Auslösung des Stoßspannungsgenerators. Bei längerem Drücken der Taste wird der Prüftransformator automatisch abgeschaltet
- TRIG. AUTOM. (20):** Die Auslösung erfolgt, wenn die am μA -Meter (11) angezeigte Ladespannung des Stoßspannungsgenerators die am Drehregler **TRIG. TENSION (21)** eingestellte Spannung erreicht hat.
- Hinweis:** Die Ladespannung zum Auslösezeitpunkt sollte ca. 90% der natürlichen Ansprechspannung der Funkenstrecke betragen. Wird der Stoßgenerator im Selbstauslösebetrieb gefahren, so soll der Zündverstärker ausgeschaltet sein, d.h. die grüne Taste GEN (17) soll in Stellung "AUS" sein.

Mit Hilfe des *Kiphebels (22)* kann vorgewählt werden, ob der Stoßspannungsgenerator nach erfolgter Auslösung sofort wieder nachgeladen (Stellung rep.) oder ob die Ladung unterbrochen wird (Stellung 1x). Der *Zündverstärker StAV 72* dient zur Verstärkung der Auslöseimpulse des Auslöse-Geräts und führt diese über einen *Koppelkondensator* $C_k = 300 \text{ pF}$ auf eine Zündelektrode, die in die *Zündkugel* eingebaut ist.

2.4 Pultrückseite

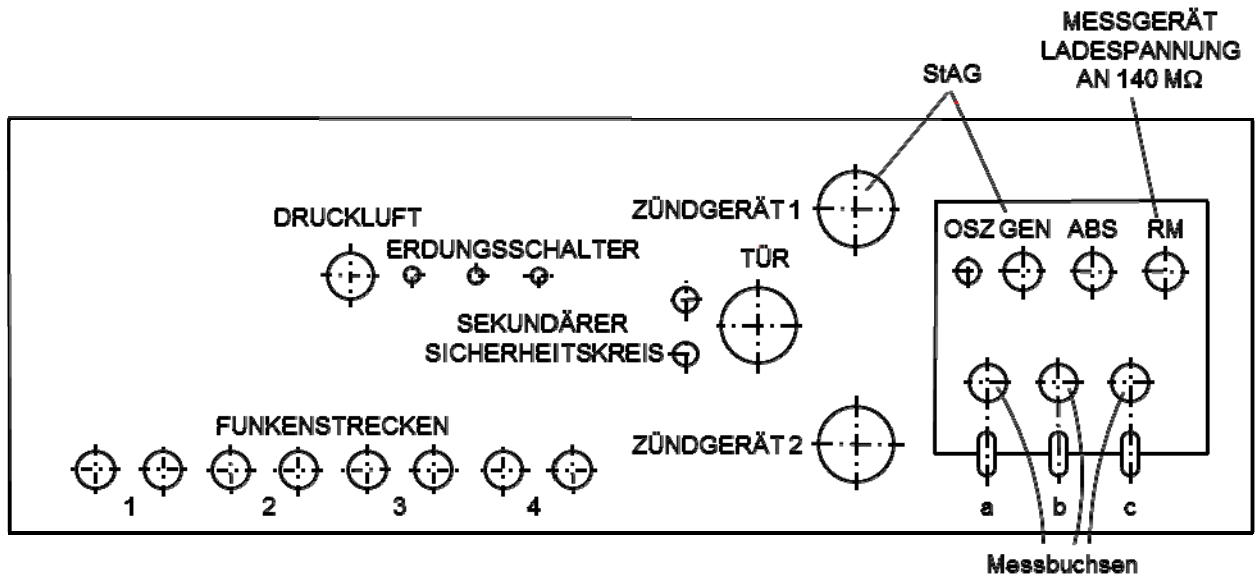


Bild 6: Anschlüsse an der Rückseite des Steuerpults

Im Praktikum wird bei Untersuchungen mit Blitzstoßspannung der Stoßauslöse-Verstärker an die Buchsen "Zündgerät I" und "GEN" angeschlossen.

Die Messbuchsen a, b und c dienen zum Anschluss der Messkabel.

2.5 Prinzipschaltbild des Steuerpults

Zum besseren Verständnis ist ein vereinfachtes Prinzipschaltbild des Steuerpults angegeben. Es ist in drei Funktionsgruppen unterteilt: Sicherheitsanlage, Steuerung des Hochspannungsfelds, Hilfseinrichtung.

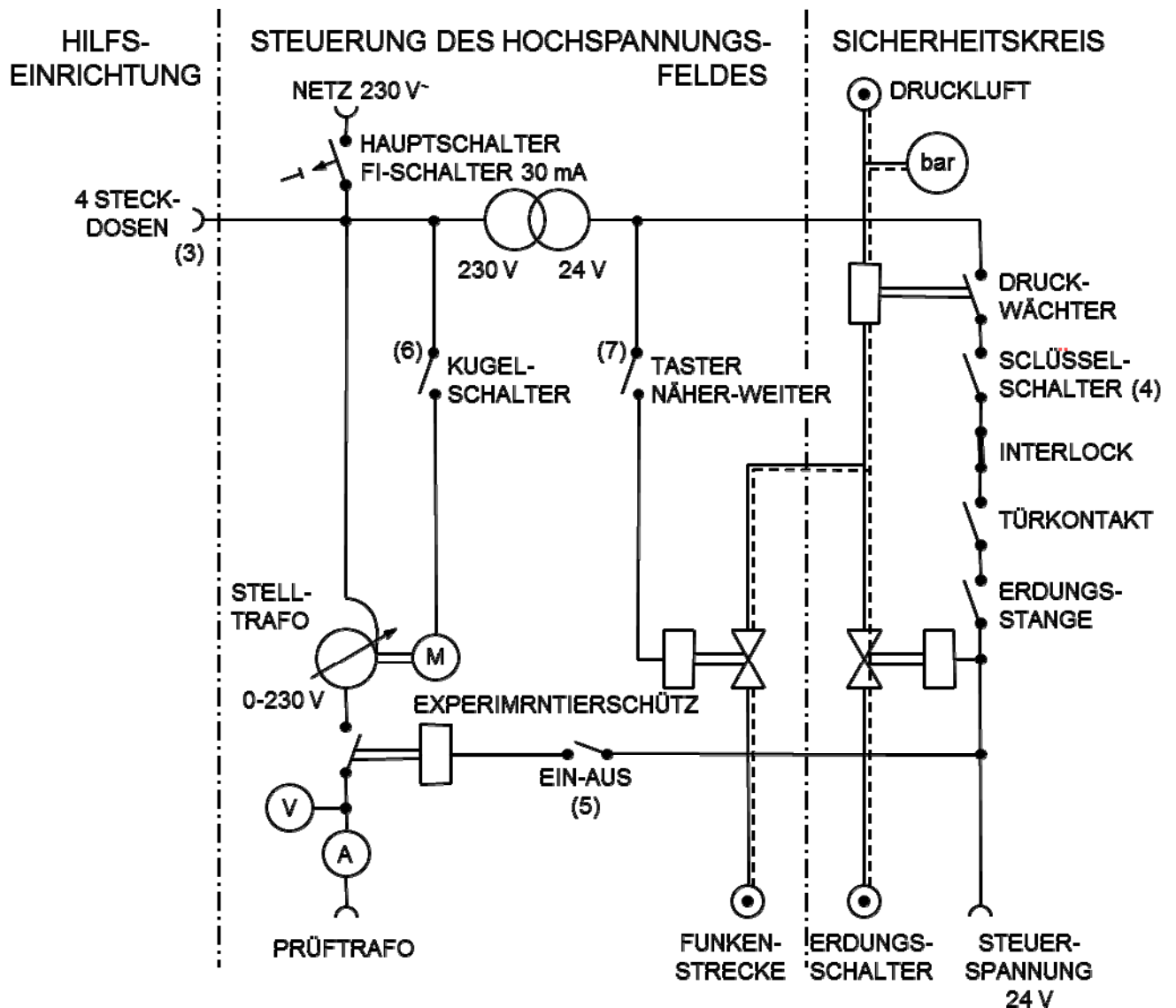


Bild 7: Prinzipschaltbild des Steuerpultes

3. Gerätebestand

Jeder Experimentierstand ist so ausgerüstet, dass Wechselspannungen bis zu 100 kV (200 kV), Gleichspannungen bis zu 130 kV (260 kV) und Summenladespannungen für Stoßspannungen bis 130 kV (260 kV) erzeugt und gemessen werden können.

3.1 Baukastengrundausrüstung

a) Hochspannungs-Prüftransformator:

Zur Erzeugung der Hochspannung dient ein Hochspannungs-Prüftransformator für 100 kV bzw. die Reihenschaltung zweier Prüftransformatoren für 200 kV, die aus dem Stelltransformator im Steuerpult (0...230 V) gespeist werden.

b) Bauelemente:

Zeichen	Element	Daten
R_d	Dämpfungswiderstand	375 Ω
R_e	Entladewiderstand	6.100 Ω
R_l	Ladewiderstand	50 k Ω
R_s	Schutz-Widerstand	1 M Ω
R_h	Hochohm-Widerstand	10 M Ω
C_w	Wechselspannungskondensator	300 pF
C_b	Belastungskondensator	1.200 pF
C_s	Stoßkondensator	10.000 pF
GR	Gleichrichter	140 kV, 5 mA
ES	Erdungsschalter, pneumatisch, an C_s angeflanscht	
ZF	Zündfunkenstrecke, pneumatisch	100 mm Kugeln
STAV	Stoßauslöse-Verstärker	

c) Messelemente:

Zeichen	Element	Daten
R_m	Messwiderstand zur Gleichspannungsmessung	140 M Ω
C_m	Messkondensator zur Wechselspannungsmessung	100 pF
KF	Messfunkenstrecke, pneumatisch	100 mm Kugeln

d) Prüfelemente:

Zeichen	Element	Daten
DK	Druckkessel mit Zubehör	
FS	Funkenstrecke mit Zubehör, pneumatisch	-1 bis 5 bar

e) Hilfselemente:

Zeichen	Element
D	Abstandsrohre
F	Fußteile
IS	Isolierstützer
K	Knotenpunkte
V	Leitende Verbindungen

3.2 Messgeräte

Gerät	Messwert	Anwendung
μA -Meter	$U_G = I \cdot R_m$	Messung der Gleichspannung über $R_m = 140 \text{ M}\Omega$
μA -Meter	$\hat{U}_W = I / (2 \cdot f \cdot C_m)$	Messung des Scheitelwertes der Wechselspannung nach Chubb/Fortescue über $C_m = 100 \text{ pF}$
Impulsmeter	$\hat{u}_S = \ddot{u} \cdot \hat{u}$	Messung des Scheitelwertes der Stoßspannung über einen kapazitiven oder gedämpft-kapazitiven Teiler
Multizet	A, V, Ω	Multimeter für allgemeine Messungen

4. Schlussbemerkungen

Eine pflegliche Behandlung der Experimentierstände mit ihrer hochwertigen hochspannungstechnischen Geräteausstattung wird als selbstverständlich vorausgesetzt. Jeder Experimentierende hat für die Dauer der durchzuführenden Lehr- und Forschungsaufgabe die Verantwortung für die anvertrauten Geräte zu übernehmen. Aufgetretene Schäden jeglicher Art sind sofort dem betreuenden wissenschaftlichen Mitarbeiter mitzuteilen.