

Automatisierte elektrische Prüfung von Datenleitungsschutzgeräten

Autoren

Cristof Drilling, Markus Droidner und Ernst Günther Jordan sind Mitarbeiter des BET Blitzschutz und EMV Technologiezentrum GmbH in Menden. Dr.-Ing. Jan Meppelink ist Professor für Hochspannungstechnik an der Universität GH Paderborn, Abt. Soest, FB 16 und wissenschaftlicher Berater im BET.

Einleitung

Datenleitungsschutzgeräte werden in allen Bereichen der Informationstechnik zum Schutz der Geräte gegen Überspannungen eingesetzt. Die Quellen von Überspannungen sind hauptsächlich die indirekten Blitzeinwirkungen. Während Überspannungen direkt die Eingänge der angeschlossenen Geräte belasten, wirken Stoßströme z.B. auf den Schirm einer Leitung und erzeugen an den Koppelimpedanzen dieser Schirme wiederum Überspannungen, die an den genannten Eingängen zur Wirkung kommen. Zur Vermeidung dieser Überspannungen werden Datenleitungsschutzgeräte angeboten /1/. Bild 1 zeigt nur eine beispielhafte Auswahl.

Entscheidend für die dauerhafte und zuverlässige Funktion der Datenleitungsschutzgeräte ist deren Prüfung in der Entwicklungsphase entsprechend den tatsächlichen Beanspruchungen im späteren Betrieb.

In der internationalen Normung ist dazu das Dokument IEC 61644-1/CDV /2/ erschienen. Ein Application Guide wird später erscheinen. In der Norm werden SPD's (Surge Protective Devices) genannt. Darunter ist eine Black Box zu verstehen, die eine oder mehrere Komponenten für den Überspannungs bzw. Überstromschutz enthält. Die Norm nimmt jedoch Bezug auf Überspannungsschutzkomponenten. Diese Norm ist anzuwenden auf Überspannungsschutzgeräte in Telekommunikationsanlagen, in Netzwerken und zum Schutz gegen indirekte und direkte Beeinflussung durch Blitzentladungen oder transiente Überspannungen

Diese Norm legt in weiten Bereichen die elektrischen, mechanischen und Umweltaforderungen fest. In der genannten Norm sind die für die Typenprüfungen durchzuführenden elektrischen, mechanischen und Umwelttests definiert. Dabei ist insbesondere eine Langzeitprüfung durch Applikation einer Großzahl von Impulsen gefordert. In diesem Beitrag wird ein automatischer Prüfplatz vorgestellt, der über die Normanforderungen hinaus eine umfangreiche Prüfung von Datenleitungsschutzgeräten erlaubt.

Typenprüfungen

In diesem Beitrag werden die elektrischen Typenprüfungen näher erläutert. Zunächst zeigt Tabelle 1 eine Übersicht der elektrischen Typenprüfungen:

Art der Typenprüfung	Zweck der Prüfung	Vorgehensweise	Daten	Bemerkung
Begrenzungs- spannung	Messung der höchsten Spannung am SPD während des Durchgangs eines Stoßstromimpulses	Je 5 positive und negative Impulse. Die Impulsform ist aus der Tabelle 2 Kategorie C auszuwählen und hängt von der Energieaufnahme des SPD ab. Thermische Akkumulation muß vermieden werden	Leerlaufspannung und Kurzschlußstrom gemäß Tabelle 2 Kategorie C. Ergänzende Tests nach Kategorie A,B,D.	Hier finden Hybridgeneratoren Anwendung, die im Leerlauf Stoßspannung und oberhalb der Begrenzungsspannung des SPD, dem Up-Wert, einen Impulsstrom liefern
Impuls- Rückstellzeit	Es soll die Zeit (Impulsrückstellzeit) bestimmt werden, wonach ein SPD nach dem Ableiten eines Impulsstromes wieder in den hochohmigen Zustand übergeht.	Test mit Kleinsignalquellen Siehe Norm	Die Zeit soll nach der Norm < 30 ms sein.	Die Prüfung erfolgt durch parallelschalten einer Gleichspannungsquelle mit Sperrdiode parallel zum SPD. Mit einem Oszilloskop wird die Rückstellzeit bestimmt.
Lebensdauer bei AC	Es soll die Alterung des SPD bei Belastung durch AC-Ströme überprüft werden.	Applikation von AC Strömen im Ampere Bereich für eine Sekunde. Anschließend werden geprüft: <ul style="list-style-type: none"> • Isolationswiderstand • Begrenzungsspannung • Impuls-Rückstellzeit 	Details :Siehe Norm	Die AC-Quelle wird über einen Timer zugeschaltet
Lebensdauer bei Impulsbeanspruchung	Es soll die Alterung des SPD bei Belastung durch Impulsströme überprüft werden.	Je 150 positive und negative Impulse. Die Impulsform ist aus der Tabelle 2 Kategorie C auszuwählen. Der gleiche Impuls wie bei der Prüfung der Begrenzungsspannung ist zu verwenden. Die Auswahl hängt von der Energieaufnahme des SPD ab. Thermische Akkumulation muß vermieden werden Anschließend werden geprüft: <ul style="list-style-type: none"> • Isolationswiderstand • Begrenzungsspannung • Impuls-Rückstellzeit 	Leerlaufspannung und Kurzschlußstrom gemäß Tabelle 2 Kategorie C. Ergänzende Tests nach Kategorie A,B,C,D.	Hier finden Hybridgeneratoren Anwendung, die im Leerlauf Stoßspannung und oberhalb der Begrenzungsspannung des SPD, dem Up-Wert, einen Impulsstrom liefern
Überlastungstest	Es soll gezeigt werden, daß ein SPD bei einer Überlastung nicht Feuer fängt, nicht explodiert, keine elektrische Gefährdung hervorruft und keine giftigen Gase erzeugt	Zunächst wird mit Stoßstrom 8/20ms getestet. $i_{test} = i_n (1 + 0,5n)$ Die Prüfung beginnt mit n=0, d.h. mit dem Nennstrom des Produktes. Die Prüfung wird bis n=6 fortgesetzt, bis ein Überlastfall auftritt. Wenn kein Überlastfall auftritt, wird mit AC weitergeprüft . Die AC Quelle ist so zu wählen, daß ein SPD dabei in den leitenden Zustand kommt. Die AC Prüfung wird für 15 min vorgenommen. Anschließend soll das SPD aus der Steckvorrichtung oder Klemmvorrichtung herausnehmbar sein.	Angaben des Herstellers legen den Nennstrom fest	Stoßstromgenerator und AC Quelle
Fehler in mehrpoligen SPD s	Es soll gezeigt werden ob bei einem mehrpoligen Gerät ein einzelner Pol schadhast ist	Umfangreiches Verfahren, beschrieben in der Norm. Anschließend wird der Isolationswiderstand bestimmt.		Stoßstromquellen

Tabelle 1 Elektrische Typenprüfungen nach IEC 61644-1/CDV.

Die in Tabelle 1 und in Tabelle 2 beschriebenen Typenprüfungen legen den notwendigen apparativen Aufwand für die Prüfungen fest. Neben der reinen Spannungs und Stromerzeugung ist aber auch die Feststellung der Eigenschaften nach einer Prüfung erforderlich.

Anforderungen an die Prüfgeneratoren für Impulsspannungen und Impulsströme

In der Norm ist eine große Zahl elektrischer Prüfungen festgelegt. Im folgenden Abschnitt werden nur die Teile behandelt, die sich auf eine Prüfung von Überspannungsschutzkomponenten mit Impulsen beziehen. In Tabelle 2 sind die von der Norm geforderten Impulsparameter für Spannungen und Ströme, Stoßspannungsimpulse und Stoßstromimpulse aufgelistet. Die Impulsformen repräsentieren verschiedenste Bereiche der Technik, in denen sich bestimmte Impulsformen in der Vergangenheit bereits als Standard etabliert haben. Es fällt auf, daß bei einigen Prüfungen mit Impulsen eine große Zahl von Prüfimpulsen gefordert ist.

Kategorie	Testform	Leerlaufspannung	Kurzschlußstrom	Anzahl der Prüfungen
A1	Sehr langsame Anstiegszeit	1kV, Anstiegsgeschwindigkeit: 0,1 – 100 kV/s	10 A, 0,1 – 2 A/μs, Dauer ≥ 1000 μs	Nicht anwendbar
A2	AC	Siehe IEC 61644-1/CDV		Nicht anwendbar
B1	langsame Anstiegszeit	1 kV, 10/1000 μs	100 A, 10/1000 μs	300
B2		1 oder 4 kV, 10/700 μs	25 oder 100 A, 5/300 μs	300
B3		1 kV, 100 V/μs	10, 25 oder 100 A, 10/1000 μs	300
C1	schnelle Anstiegszeit	0,5 kV oder 1 kV, 1,2/50 μs	0,25 oder 0,5 kA, 8/20 μs	300
C2		2, 4 oder 10 kV, 1,2/50 μs	1,2 oder 5 kA, 8/20 μs	10
C3		1 kV, 1 kV/μs	0,5, 1 oder 5 kA, 10/1000 μs	300
D1	spezial	≥ 1 kV	0,5, 1 oder 5 kA, 10/350 μs	2

Tabelle 2: Anforderungen aus der Norm IEC 61644-1

Konzeption eines automatischen Prüfplatzes

Wegen der großen Zahl der geforderten Impulse in Tabelle 1 scheidet eine allein manuelle Bedienung des Prüfplatzes aus Kostengründen aus. Im Hinblick auf die Entwicklung von SPD's ist es vorteilhaft, wenn Lebensdaueruntersuchungen mit beliebigen Kombinationen von Impulsen automatisch ausgeführt werden können. Dazu gehört ebenfalls eine automatisierte Meßwerterfassung und Auswertung. So müssen beispielsweise die Ausfallkriterien festgelegt und vom Prüfsystem automatisch erkannt werden. Daraus leiten sich folgende Anforderungen ab:

Hardware:

- Alle Geräte werden von einem Rechner über IEEE - 488 Bus gesteuert.
- Alle Meßgeräte werden vom Rechner über IEEE - 488 Bus gesteuert und liefern Meßdaten an den Rechner.
- Rechnergesteuerte automatische Konfiguration des Prüfgenerators für eine gewünschte Impulsform über Hochspannungs-bzw. Hochstromschalter.
- Zeitgenaue Synchronisation der Impulse auf die anliegende Wechselspannung.
- Koppelmatrix zum Anwählen der zu prüfenden Leitungen und zum Einstellen des Prüfmodos Leitung gegen Masse oder Leitung gegen Leitung
- Sicherheit des Bedienungspersonals

Software :

- Einstellung aller Systemkomponenten des Prüfgenerators für beliebige Prüfsequenzen
- Einstellung des digitalen Oszilloskops
- Überwachung der Prüfung, Datensicherung, Archivierung und Auswertung der Versuchsergebnisse
- Überwachung der Ausfallkriterien
- Kalibrierungsprozeduren

Das Konzept des Prüfgenerators ist in Bild 2 dargestellt. Als Energiespeicher werden Stoßstromkondensatoren bis zu 20 μF bei einer Ladespannung von 20 kV eingesetzt. Der Hochspannungsschalter muß den Stoßkreis schalten und zusätzlich auf die 50 Hz Netzfrequenz synchronisiert werden, damit die gewünschten Zündwinkel relativ zum Nulldurchgang der netzfrequenten Spannung einstellbar sind. Als Hochspannungsschalter dient ein Ignitron. Es erfüllt leicht die Forderung nach dem Schalten kleiner als auch hoher Spannungen ohne merklichen Jitter und bietet den Vorteil der festen Schlagweite. Die sonst bei Schaltfunkenstrecken erforderliche mechanische Verstellung der Elektroden entfällt daher. Da verschiedene Impulsformen erzeugt werden müssen, ist eine automatische Umschaltung der Impulskreise auf der Hochspannungs/Hochstromseite erforderlich. Da die Umschaltung stromlos erfolgt, bieten sich konventionelle Trennschalter an, die über einen Motorantrieb zuschaltbar sind.

Aufbau der Impulsgeneratoren

Die Impulsgeneratoren werden als Hybridnetzwerke aufgebaut. Bild 3 zeigt als Beispiel die Realisierung der Schaltung für den Spannungsimpuls 1,2/50 μs und den Stromimpuls 8/20 μs . Ein Hybridgenerator / 3 / erzeugt im Leerlauf eine Stoßspannung gewünschter Impulsform und im

Kurzschluß (Ein durchgeschaltetes Überspannungsschutzgerät wird als Kurzschluß angesehen) einen Stoßstrom gewünschter Impulsform.

Die fiktive Impedanz eines Hybridgenerators errechnet sich dabei aus dem Quotienten aus Leerlaufspannung und Kurzschlußstrom. Die Werte der realisierten Impulsgeneratoren zeigt Tabelle 3. Neben den Impulsquellen wird eine rechnergesteuerte Gleichspannungsquelle, die zum Laden der Kondensatoren verwendet wird, als Quelle zur Erzeugung einer langsam ansteigenden Gleichspannung verwendet. Damit werden die Anforderungen aus Tabelle 1, Kategorie A1 erfüllt.

Bild 4 zeigt den gesamten Generator. Im unteren Teil befinden sich die Impulsgeneratoren. In der Mitte ist die Gleichspannungsquelle eingebaut. Oberhalb befindet sich der Einschub mit den Interface zur Ansteuerung der Koppelmatrix. Hier kann der Zustand der Koppelmatrix direkt erkannt werden. Oberhalb dieses Einschubes befindet sich der eigentliche Steuereinschub mit dem Mikrocontroller. Der Prüfraum befindet sich in der Mitte des Schrankes. Hier wird das zu prüfende Datenleitungsschutzgerät eingebaut. Über die Steckbuchsen ist entweder eine direkte Verbindung zu einem gewünschten Impulskreis möglich, wenn eine manuelle Prüfung erfolgen soll oder die Verbindung des Prüfobjektes zur Koppelmatrix, wenn eine automatische Prüfung erfolgen soll. Ein Spannungsteiler zur Messung der Spannung am Prüfobjekt und ein Stoßstromshunt sind im Schrank eingebaut.

Netzwerk	Impulsform der Stoßspannung	Impulsform des Stoßstromes	$I_{\max.}$ [kA]	$U_{\max.}$ [kV]	R_i [W]
1	1,2/ 50 μ s	8/20 μ s	9	18	2,0
2	1,2/ 50 μ s	8/20 μ s	27	18	0,67
3	10/700 μ s	5/300 μ s	0,45	18	40
4	10/1000 μ s	10/1000 μ s	0,2	2	10
5	DC	DC	20mA	20	

Tabelle 3 Daten der Impulse der realisierten Impulsgeneratoren

Konzeption der Steuer und Auswertesoftware

Die Steuerung des gesamten Versuchsablaufes erfolgt mit Hilfe eines Mikrocontrollers. Er überwacht den Zustand aller Schalter der Koppelmatrix, den Zündwinkel, die Triggerung des Ignitrons, den Zustand der Türkontakte des Prüfraumes, den Erdungsschalter sowie alle Verriegelungen. Zur Sicherstellung der elektromagnetischen Verträglichkeit des gesamten Steuerungssystems werden Interfaces mit hoher Störunterdrückung eingesetzt.

Die Bedienung des gesamten Generators erfolgt entweder manuell über das Ladegerät und die Einstellungen am Steuereinschub oder über einen Rechner mit Hilfe der Software HPVEE /4/. Bild 5 zeigt einen Ablaufplan für die manuelle bzw. automatische Steuerung. Wird eine automatische Versuchssteuerung gewünscht, erfolgt zunächst im Hauptmenü eine Ablaufeinstellung durch Definition einer Sequenz. In der Sequenz werden Anzahl der Stöße und die Zeit zwischen zwei Stößen festgelegt. Weitere Sequenzen können definiert und dann nacheinander abgearbeitet werden. Die genaue Definition der Parameter einer Sequenz erfolgt nach Bild 6. Durch Mausklick im oberen linken Teil wird der Prüfling mit Hilfe der Koppelmatrix konfiguriert. Dabei wird festgelegt, ob es eine Prüfung Leiter gegen Erde oder Leiter gegen Leiter sein soll. Im unteren linken Teil werden die gewünschte Impulsform und der Ansteuerwinkel der Wechselfspannung per Mausklick festgelegt. Die Anzahl der zu prüfenden Stöße wird in der Sequenzdefinition festgelegt. Bild 7 zeigt die grafische Darstellung eines Stoßvorganges. Zur Ermittlung der relevanten Parameter werden die in HPVEE eingebauten Funktionen verwendet. Neben den Impulskenngößen wie Stirnzeit, Rückenhalbwertzeit und Unterschwingen müssen der Scheitelwert und weitere Impulsparameter bestimmt werden.

Parameter des Stromoszillogramms: Der Impulsparameter **Ladung** wird hier als Betragsintegral des Stromes über der Zeit ausgewertet. Er ist ein Maß für das Ausschmelzen von Metallen bei Beanspruchung durch Lichtbogenfußpunkte.

$$|Q| = \int_0^{\infty} |i(t)| dt$$

Der Impulsparameter **spezifische Energie** ist ein Maß für die umgesetzte Energie im Prüfobjekt.

$$\frac{W}{R} = \int_0^{\infty} i^2(t) dt$$

Parameter des Spannungszillogramms: Die physikalische Bedeutung der Spannungszeitfläche und des Quadratintegrals werden nicht zwingend gefordert, sind jedoch der Vollständigkeit halber mit ausgewertet.

Die Impulsparameter können im Menü in Bild 7 direkt abgelesen werden. Der Zeitverlauf von Stoßstrom und Stoßspannung ist ebenfalls in Bild 7 dargestellt, so daß eine Beurteilung der Prüfung sofort anhand der Kurvenform möglich ist.

Die Auswertung der Daten erfolgt unmittelbar nach einem erfolgten Stoß. Alle Daten werden gemäß der Übersicht in Bild 8 abgelegt. Mit Hilfe des Programmes Excel /5/ werden die Daten abgelegt. Jederzeit können die Daten ausgewertet und als Graph dargestellt werden. Insbesondere für die statistische Qualitätskontrolle können Prüfabläufe analysiert werden. Gerade in der Entwicklung kann diese Arbeit zeitsparend vom Rechner erledigt werden.

Zusammenfassung

Der vorgestellte automatische Prüfplatz für Datenleitungsschutzgeräte ermöglicht während der Entwicklungsphase eine zeitsparende Prüfung. Für die Typenprüfung können die notwendigen Daten und Ergebnisse schnell ermittelt und schnell dokumentiert werden. Ein rechnergesteuerter Versuchsablauf und die rechnergesteuerte Versuchsauswertung vermeiden Fehler. Die Konzeption der Impulsgeneratoren ging weit über die Anforderungen der gegenwärtig diskutierten Norm hinaus, so daß auch Prüfungen mit höheren Werten möglich sind.

Literatur:

- /1/: OBO Bettermann: Katalog OBO Überspannungsschutz Neue Überspannungsschutzgeräte für den Netz- und Telekommunikationsbereich. NeuheitenÜSS_D_V1_011197. OBO Bettermann GMBH & Co. Menden.
- /2/: IEC 61644-1/CDV: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks-Part 1: Performance requirements and testing methods.
- /3/: Heidler,F.; Zischank,W.: Comparability of various combination wave generators with different circuit design. 22nd International Conference on lightning protection. Budapest-Hungary 1994 Paper R5-05.
- /4/: HPVEE ist ein eingetragenes Markenzeichen der Firma Hewlett Packard
- /5/: EXCEL ist ein eingetragenes Warenzeichen von Microsoft



Bild 1 Datenleitungsschutzgeräte

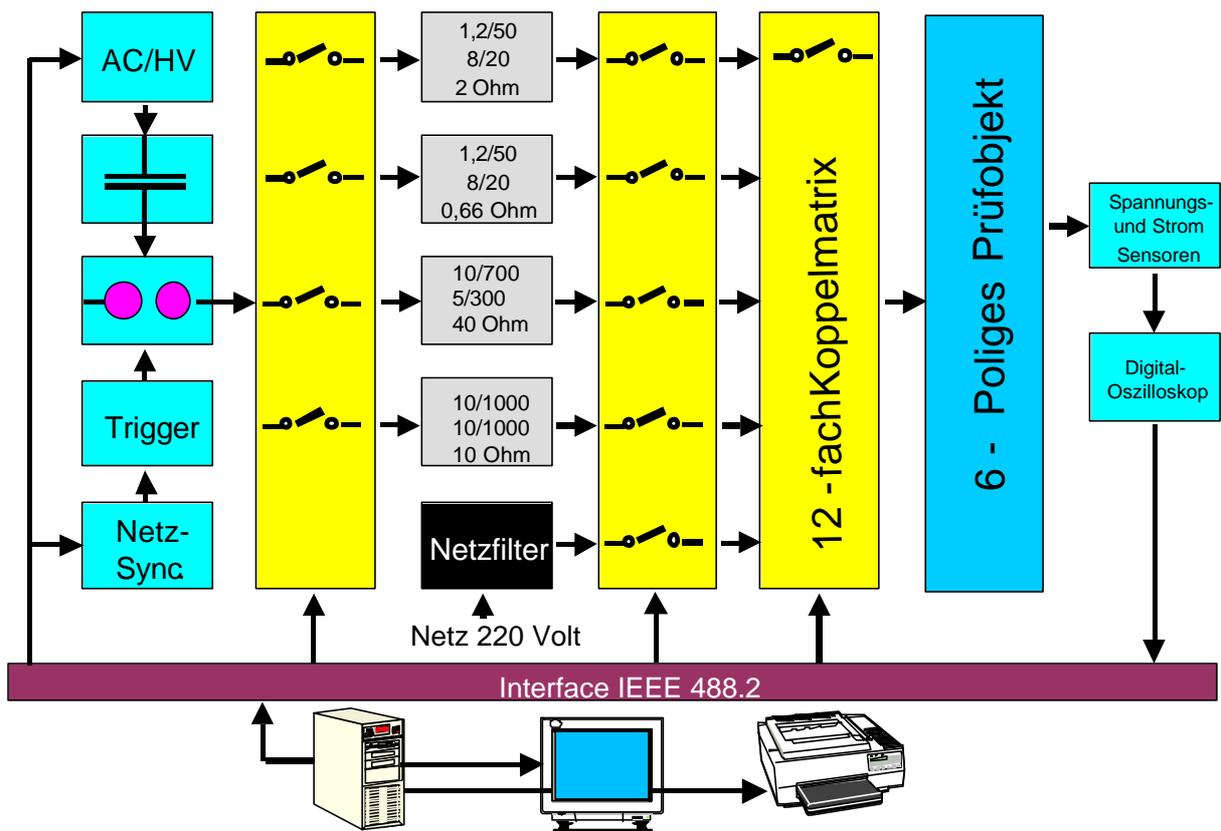


Bild 2 Systemüberblick des Prüfgenerators

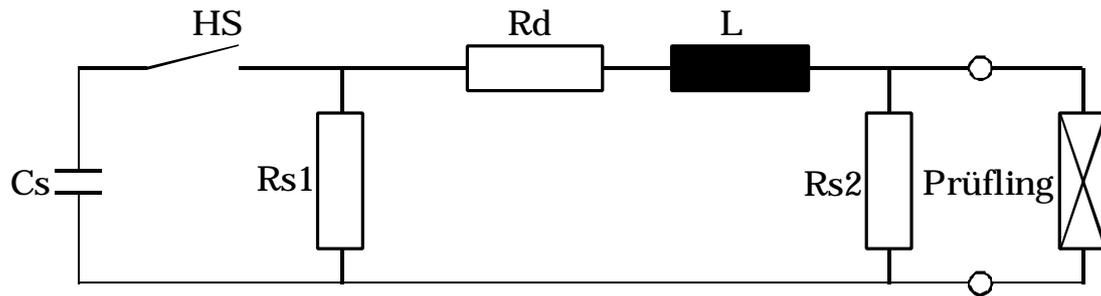


Bild 3 Beispiel der Schaltung eines Hybridgenerators für $1,2/50\mu\text{s}$ und $8/20\mu\text{s}$

Spannungsform	$1,2/50\mu\text{s}$
Stromform	$8/20\mu\text{s}$
Innenwiderstand	2Ω
C_S	$6,7\mu\text{F}$
R_{s1}	$19,2\Omega$
R_{s2}	$25,3\Omega$
R_d	$0,88\Omega$
L	$6,1\mu\text{H}$



Bild 4 Ansicht des Generators

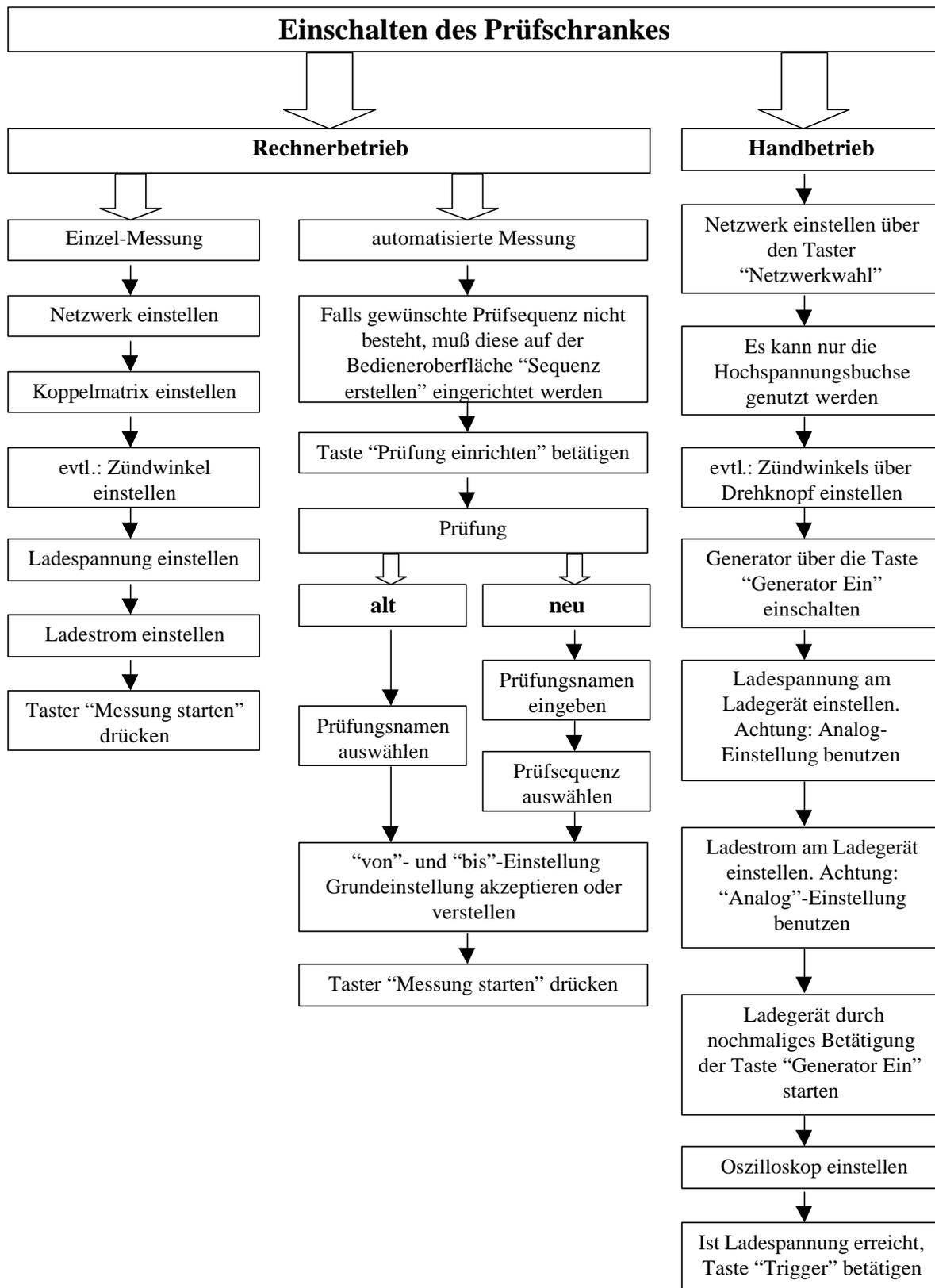


Bild 5 Übersicht der Steuersoftware

The screenshot displays the HP VEE - Surge-Prüfung software interface. The window title is "HP VEE - Surge-Prüfung". The interface is divided into several sections:

- Koppelmatrix übernehmen:** A list of switches (Schalter 1 to 13) with checkboxes.
- Netzwerk/Zündw. übernehmen:** A list of angles (0 Grad to 360 Grad) with checkboxes.
- Stoßstrom (Shock Current):** A panel with a graph showing "Strom[µA]" vs "Zeit[s]". The graph has a red horizontal line at 0. Control fields include: Scheitelwert: 0µA, Stirnzeit: 0µs, Rückenzeit: 0µs, Ladung: 0µAs, spez. Energie: 0µA²s. Below the graph are fields for Aufnahme-Nr.: 1, Stoßstrom: 0, Stoßspannung: 0, Startpunkt [µs]: 100, Timebase: 10µs/div, and Endpunkt [µs]: 100. Buttons include "Reset", "Aktualisieren", and "Messung starten".
- Stoßspannung (Shock Voltage):** A panel with a graph showing "Spannung[µV]" vs "Zeit[s]". The graph has a black horizontal line at 0. Control fields include: Scheitelwert: 0µV, Stirnzeit: 0µs, Rückenzeit: 0µs, Integral: 0µVs, and Quadrat-Integral: 0µV²s. Below the graph are fields for Spannung [kV]: 1, Strom [mA]: 10, and dU/dt [V/s]: 100. Buttons include "Archiv", "Zähler zurücksetzen", "Excel", and "Zurück zu Hauptmenü".

The taskbar at the bottom shows "Start", "Microsoft Word - Dip...", "HP VEE - Surge-...", and the system clock "14:05".

Bild 6 Menü zur Einstellung der Koppelmatrix für den gewünschten Prüfmodus und die Wahl der Impulsform

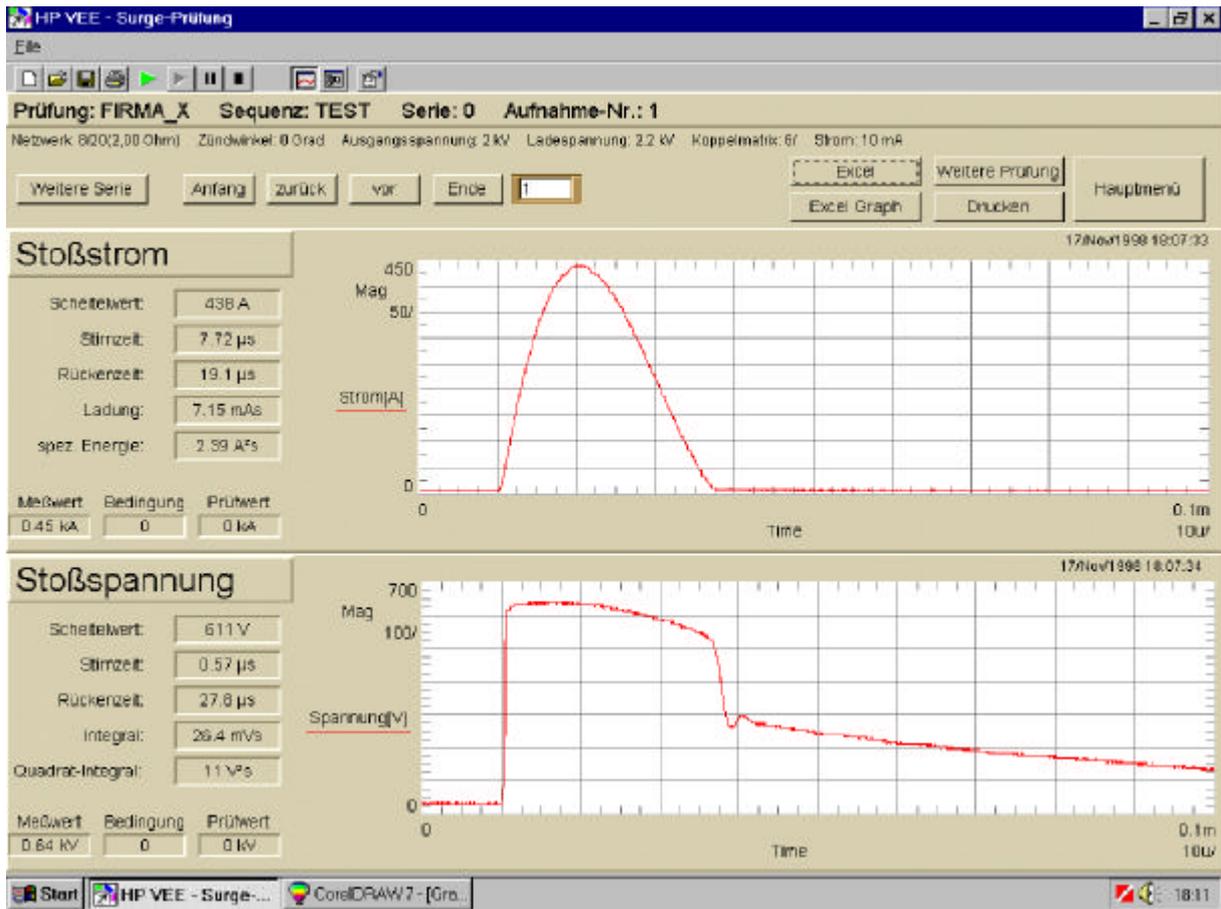


Bild 7 Auswertung der Versuchsergebnisse eines Stoßes

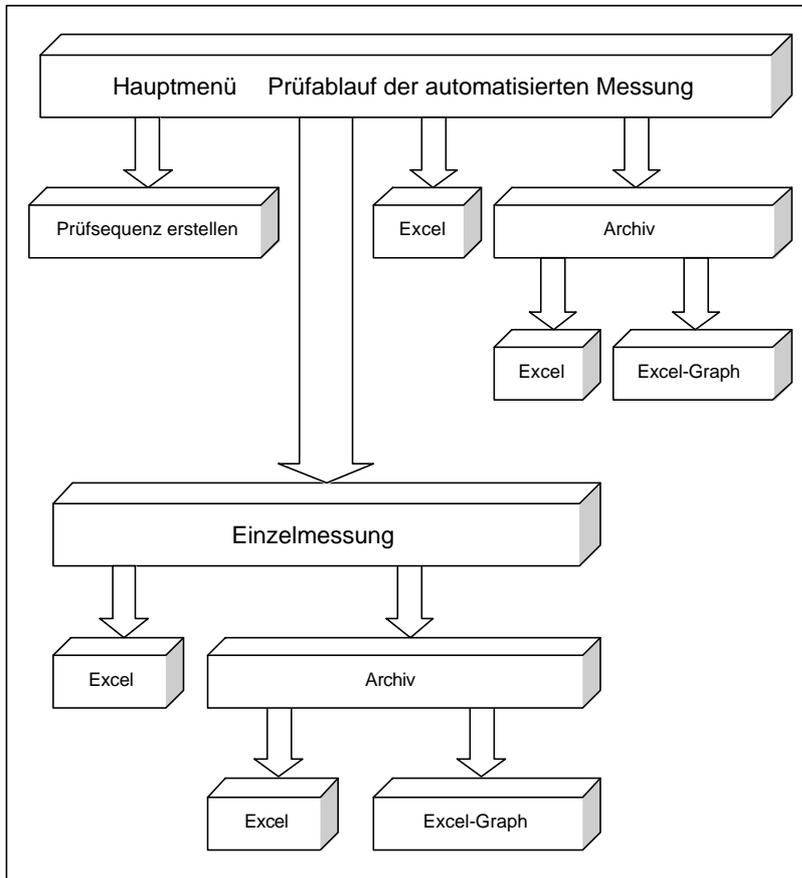


Bild 8 Dokumentation der Versuchsergebnisse.