

Nachrüsten älterer NS-Schaltanlagen und -Verteilersysteme

G. Voß, Ladenburg; H.-J. Rübsam, Neuss

Die Nachrüstung von Schaltanlagen über 1 kV Bemessungsspannung wird nach einer angemessenen Übergangszeit bis zum Oktober des Jahres 2000 weitgehend abgeschlossen sein. Wie ist jedoch die Situation bei älteren Niederspannungs(NS)-Schaltanlagen?

Im Beitrag wird dargelegt, daß die meisten NS-Schaltanlagen gegenüber der HS/MS-Technik einer strengeren Betrachtungsweise hinsichtlich des Unfallgeschehens, der Störllichtbogeneffekten und der Brandschadenverhütung unterliegen müssen und somit eher einer Nachrüstpflicht unterzogen werden sollten, um sie dem heutigen technischen Stand anzupassen.

1 Situation bei HS-(MS-)Anlagen

Obleich die Unfallzahlen bei HS-Anlagen im Vergleich zu NS-Anlagen deutlich niedriger sind, wurde bereits 1980 vom DKE-Komitee K 222 mit der Inkraftsetzung der DIN VDE 0101, Abschn. 4.4, eine Anpasspflicht bei HS-Anlagen innerhalb von 20 Jahren eingeleitet. Dazu gehört z. B. auch der Störllichtbogenschutz beim Bedienen. Dieser kann vergleichsweise verbessert werden durch

- Lasttrennschalter anstelle von Trennschalter,
- Schaltfehlerschutz für Trenn- und Erdungsschalter (Verriegelungen),
- Bedienung der Anlagen aus sicherer Entfernung,
- Einbau von geeigneten Schutzvorrichtungen (Trennwände).

Die VBG 4, Anhang 2 (01.10.96), besagt, daß diese oder vergleichbare technische Maßnahmen bis zum 31. Oktober 2000 an älteren Anlagen durchzuführen sind [1].

2 Situation bei NS-Anlagen

2.1 Unfallgeschehen

Die Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik stellt fest [2]: „Die Zunahme der Unfälle war im wesentlichen auf vermehrte Niederspannungsunfälle zurückzuführen. Von 632 Unfällen im Jahre 1983 stiegen die Stromunfälle sogar auf 1430 im Jahr 1992. Danach nahm die Zahl allmählich wieder ab und liegt jetzt bei 1250. Grundsätzlich beträgt der Anteil der Niederspannungsunfälle seit Jahrzehnten

etwa 90 % am gesamten Unfallgeschehen durch elektrischen Strom“.

Die BG weist auch auf die Unfallfolgen aufgrund der Störllichtbogeneinwirkungen hin. Nicht zuletzt aus dieser Erkenntnis heraus wurde 1997 zum ersten Mal ein Prüfverfahren zu einer Störllichtbogenprüfung in die DIN VDE 0660 Teil 500, Beiblatt 2 (Oktober 1997) aufgenommen. Wie bei der HS-Technik ist diese auf freiwilliger Basis (Ver Vereinbarung zwischen Betreiber und Hersteller) festzulegen. Namhafte Unternehmen, ABB, ELEK, Klöckner Moeller u. a., führen diese Prüfungen bereits seit Jahren auf Kundenwunsch durch.

2.2 Betriebliche Beanspruchung

Elektrische Energieverteilungen sind neben dem normalen Verschleiß Jahr für Jahr einer zunehmenden Strombelastung ausgesetzt. Elektrische Energie wird z. B. verstärkt gebraucht, weil die Büroeinrichtungen kontinuierlich technisch komfortabler und gerätetechnisch besser ausgestattet werden. Gleiches gilt auch für den Fertigungsprozeß im Industriebetrieb, der ständig weiter rationalisiert und automatisiert wird. Wer denkt dabei an die NS-Schaltanlage und deren zunehmende Strombelastung? In den meisten Fällen ist dem Elektro-Fachpersonal gemäß Typenschild auch nur der Sammelschienen-Nennstrom der Anlage bekannt, der wichtige maximale Bemessungsbetriebsstrom I_{Bmax} aber unbekannt.

Dieser ständig steigende Bedarf elektrischer Energie (2 % bis 5 % pro Jahr) bedeutet, in nur 20 Jahren tritt eine Verdoppelung gegenüber den ursprünglich ausgelegten Werten auf. Folgeschwere Schadensfälle sind somit vorprogrammiert. Praktiker mit langjähriger Erfahrung weisen mit Nachdruck auf diese Gefahrenquellen hin. Hier ist eine Nachbesserung in den Bestimmungen ähnlich DIN VDE 0101 sinnvoll und notwendig [3][4][5][6]. Infolge einer Störung kann es zu erheb-

lichen Betriebsschäden oder infolge des Betriebsausfalls zu ernsthaften Existenzproblemen für ein Unternehmen kommen. Schon die Folgekosten einer einstündigen Produktionsunterbrechung kann dem Betreiber einen Schaden von 50.000,- bis 100.000,- Mark verursachen [4].

3 Vorschläge zur Durchführung von Prüfungen

Zur kurzfristigen Beurteilung der NS-Anlagen eignen sich die Überprüfung

- auf **Isolationsfestigkeit** – mittels einer Stoßspannungsprüfung [7],
- auf **Hitzefelder** (außergewöhnliche Wärme) – mittels einer thermographischen Meßmethode [8] sowie
- Ermittlung des tatsächlichen, **effektiven Betriebsstroms** – mittels Meßzange oder einfach zu handhabendem Meßgerät mit Rogowskispule [9].

Eine genaue Netzversorgungs-Analyse ist heute dringend erforderlich. Normale, mittelwertbildende Meßgeräte zeigen bei vorhandenen Oberwellen durch nicht-lineare Verbraucher innerhalb eines Versorgungsnetzes einen bis zu 40 % niedrigeren Wert an.

Des weiteren sollten die Funktionen von Sicherungs-Last- und -Trennschaltern (auch von Sicherungsunterteilen) inspiziert und eventuell Sicherungsschmelzeinsätze älterer Bauart (mit hoher Verlustleistung!) gegen neue, verlustleistungsarme nach DIN VDE 0636 ausgetauscht werden. So läßt sich vielfach die Gesamtverlustleistung und damit die Wärmebelastung der Schaltanlage vorab reduzieren und damit auch eine potentielle Brandgefahr verringern.

Bei Schaltfeldern, die an der Grenze ihrer Belastung liegen, ist ernsthaft und sehr gewissenhaft über eine Erweiterung oder einen Austausch der Schaltanlage nachzudenken, die dem heutigen technischen Stand entspricht.

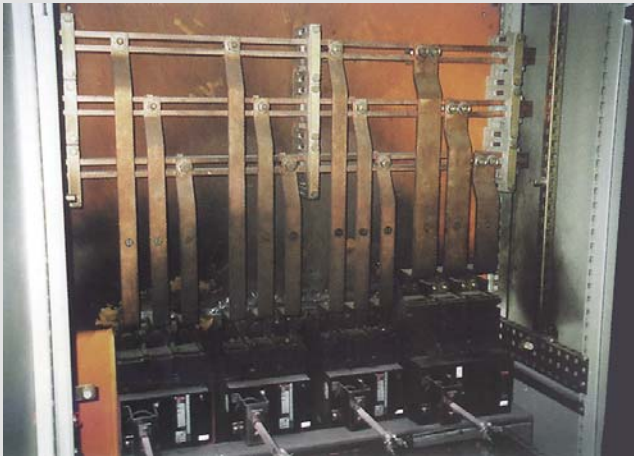
4 Aufgaben zur Nachrüstung

Hinsichtlich der Nachrüstung von NS-Anlagen sind folgende Kriterien zu beachten:

- Personensicherheit und Bedienungskomfort = „**Sicherheit für den Bedienenden**“.
- Hoher Automatisierungsgrad und Störsicherheit (EMV) = „**Sicherheit während des Betriebs**“.
- Die zu erwartende Zunahme elektrischer Energie macht notwendig:
 - hohe Kurzschlußfestigkeit (einschließlich **Lichtbogen-Sicherheit**)
 - hohen **Brandschutz** (Sicherheit bei abnormaler Wärme und Feuer), insbesondere bei Einsatz und Auswahl von Kunststoffen.

Autoren

Dipl.-Ing. Gerhard Voß ist im Vorstand des VDE-Bezirks Kurpfalz; Dipl.-Ing. Hans J. Rübsam war bis zu seiner Altersgrenze in der Geschäftsführung der Fa. Elek tätig.



❶ Auswirkungen eines Lichtbogens innerhalb einer Schaltanlage, verursacht durch Schaltüberspannung und Feuchtigkeit



❷ Stoßspannungsprüfung an einem Verteiler mit dem Prüfgerät SIG 200

(S & S Systeme GmbH)

Der Zwang zur weiteren Rationalisierung in der Planung, Herstellung und Errichtung („preiswertes Angebot“) bewirkt:

- Die abgeschlossene elektrische Betriebsstätte steht teilweise nicht mehr zur Verfügung (der umbaute Raum wird aus Kostengründen nicht zur Verfügung gestellt).
- Die Aufstellung der Schaltanlage hat im Lastschwerpunkt zu erfolgen, um Spannungsabfall und unnötige Verlustleistung und Erwärmung der Umgebung über die Kabellängen zu vermeiden.
- Außerdem ist zu beachten, der Betrieb, d. h. Schalthandlungen an den Schaltanlagen, erfolgt vermehrt durch Laien oder durch unterwiesene Personen, da Elektro-Fachkräfte kaum in kürzester Zeit verfügbar sind.

Somit ist eine gewissenhafte Überprüfung erforderlich. Die genannten Kriterien bestimmen damit gegebenenfalls die Aufgabe zu einer Nachrüstung oder den Einsatz einer Neukonstruktion auf der Grundlage bestehender Vorschriften, Verordnungen und Bestimmungen.

4.1 Nachweis der Isolationsfestigkeit

Wo immer möglich, sollte eine **Stoßspannungsprüfung** durchgeführt werden. Sie entspricht den wirklich auftretenden Beanspruchungen, auch durch Überspannungen im Netz, am ehesten. Schwerwiegende Isolationsfehler lassen sich erkennen, bevor sie zu einer Gefahr werden.

Die Isolationsfestigkeit einer Anlage wird durch kurzzeitige Schaltüberspannungsspitzen beansprucht, die z. B. beim Schalten von Schmelzsicherungen oder strombegrenzender Leistungsschalter auftreten bzw. beim Ausschalten von Schützspulen. Die Beanspruchbarkeit der Luft- und Kriechstrecken wird durch Verschmutzungen/Verunreinigungen, wie Staub und Feuchtigkeit, stark herabgesetzt.

Die wichtigsten Einflußgrößen auf die Isolationsfestigkeit sind Temperatur, Schmutz und Staub sowie die Luftfeuchte. Letztere gerade bei einem schnellen Temperaturrückgang. Dabei bildet sich Kondenswasser auf den Oberflächen der Schaltgeräte und der umgebenden leitfähigen Umhüllung.

Beispiel: In der im Bild ❶ dargestellten Schaltanlage wurden mehrere Kompakt-Leistungsschalter „dicht-an-dicht“ auf einer Montageplatte montiert. Bei der folgenden Überstrom-Abschaltung des Leistungsschalters wurde eine Schaltüberspannung erzeugt. In Verbindung mit dem Austritt ionisierter (leitender) Gase bei relativ hoher Luftfeuchte sowie niedergeschlagenem Kondenswasser auf der Montageplatte und den Schaltgeräten wurde damit ein Lichtbogen gezündet, welcher letztlich die Anlage zerstörte.

Ursachen: Die verminderte Isolationsfestigkeit durch Kondenswasserbildung und Nichtbeachtung einer möglichen kurzzeitigen Schaltüberspannung bis zu 4 kV.

Empfehlungen:

- Prüfung und Nachweis der Stoßspannungsfestigkeit der NS-Anlagen nach

DIN VDE 0110, z. B. mit dem Prüfgerät SIG 200 (Bild ❷) [6] mit dem zusätzlich geprüft werden:

Einschnitte in Leiterisolierungen, übersehene Fremdkörper, liegengelassene Werkzeuge, Schwachstellen in der Isolation sowie Nachweis und Festlegung der Überspannungskategorie in Koordination mit dem möglichen Verschmutzungsgrad.

- Montage von Kompakt-Schaltgeräten auf Montageschienen. Bei hoher Packungsdichte ist besonders auf die Art, Lage und Ausführung der Anschlußtechnik (z. B. Kabelschuhe) zu achten. Ausreichende Wärme-Abstrahlflächen, insbesondere nach hinten, sind zu gewährleisten. Ansammlung von Staub und Kondenswasser ist zu vermeiden.

4.2 Überprüfung auf Hitzefelder/ außergewöhnliche Erwärmung

Bei der Planung von NS-Anlagen wird – sofern keine Angaben über die tatsächlichen Ströme vorliegen – der Bemessungsbelastungsfaktor gemäß DIN VDE 0660 Teil 500, Abschn. 4.7, Tabelle 1, eingesetzt. Bei 10 und mehr Stromkreisen z. B. der Faktor 0,6.

Verändert sich jedoch bei steigendem Energiebedarf in den Folgejahren dieser Faktor in Richtung 1, so ist bei Schaltgerätekombination die Neujustage von Überstrom-Schutz- und Schaltgeräten erforderlich oder der Austausch von Sicherungsschmelzeinsätzen. Außerdem ändert sich die Belastung der zugehörigen inneren Verdrahtung. Hier wird kaum (nie!) nachgebessert, und es kommt wie nachstehend zum Ausfall.

Beispiel: In einem großen Automobilwerk kam es durch den nachträglichen Anschluß weiterer und „höher-wertiger“ Verbraucher innerhalb einer typgeprüften Isolierstoff-Verteileranlage der Schutzart IP 55 zu erhöhter innerer Erwärmung. Die Grenzerwärmung wurde überschritten. Das wiederum führte zum Abschmelzen der Isolierstoffumhüllung der flexiblen Kupferverbindungs-schienen und folglich zur Unterschreitung der Luft- und Kriechstrecken sowie letztlich zur Lichtbogenzündung. Erst nach einiger Zeit löste endlich der zugehörige, entfernt installierte strombegrenzende Leistungsschalter aus und schaltete die Anlage ab.

Empfehlungen: Verbraucher, die vorwiegend im Dauerbetrieb gefahren werden (z. B. Beleuchtungs-, Heizungs-, Kühl- und Lüftungsanlagen), sind bereits bei der Planung gesondert zu betrachten.

Außerdem sollte auf dem Typenschild dieser Schaltanlage der maximale Bemessungsbetriebsstrom I_{Bmax} und nicht der Sammelschienen-Nennstrom angegeben sein. Letzterer kann durchaus um 10 % bis 20 % erhöht werden, ohne Schaden zu ver-

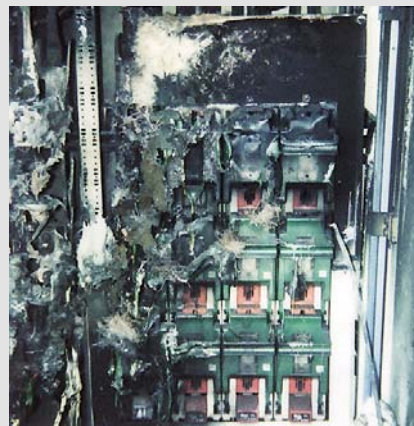
ursachen. Für die Gesamt-Anlage ist der maximale Betriebsstrom entscheidend, da sich der Errichter bei einer Änderung/Erweiterung an diesem Wert orientieren muß.

Ausfallursachen. Unabhängig von einer Überschreitung zugelassener Grenztemperaturen und damit einer Gefährdung durch Lichtbogenzündung zwingen weitere Faktoren zu einer gewissenhaften Untersuchung, wie

- kompakte, vollkommen gekapselte Gehäuse-Bauweise, Schutzart $\geq$ IP 54,
- hohe Packungsdichte/kleinste Geräte-Abmessungen = preiswertes Angebot, (kleinstmögliche Bauform wird als kostengünstigste Lösung erarbeitet/angeboten)
- Einsatz elektronischer Leistungs-Baugruppen zur Automatisierung und damit möglicher Oberwellenstrom bis zum Vielfachen des Nennstroms (s. Abschn. 4.3)
- hohe Verlustleistungen in den Gehäusen/Schränken
- Gefahr einer Kondenswasserbildung (s. Abschn. 4.1).

Dieses ist notwendig, um sowohl die Betriebs- und Funktions-Sicherheit als auch einen hohen Brandschutz zu gewährleisten. Gerade diese Faktoren machen eine Überprüfung und ständige Überwachung der Schaltanlagen und Verteilersysteme, insbesondere nach Änderungs- oder Erweiterungsarbeiten, hinsichtlich der Hitze- bzw. Wärmeentwicklung erforderlich. Sehr häufig entstehen Isolationsfehler gerade durch eine thermische Überbeanspruchung, d. h. durch unzulässige Erwärmung der Kunststoffe oberhalb zugelassener Grenztemperaturen [6].

Weitere typische Schwachstellen in NS-Schaltanlagen sind:



③ Auswirkungen eines Lichtbogens innerhalb einer stahlblechgekapselten Hauptverteilung, ausgelöst durch Überhitzung von Sicherungsschmelzeinsätzen infolge von Oberwellenströmen

- lose Schraubverbindungen¹⁾,
- unsachgemäß ausgeführte Klemm- und Quetschverbindungen,
- ausgeglühte Federkontakte an NH-Sicherungs-Trennschaltern und -Unterteilen.

Messungen. Um gefährliche Wärmenester, Wärmestau sowie schadhafte Baugruppen und Bauteile frühzeitig erkennen zu können, sollten innerhalb der Wartungs- und Überprüfungsarbeiten zugehörnde Wärme- bzw. Temperatur-Messungen durchgeführt werden. Hierbei bieten sich berührungslos messende Infrarot-Thermometer sowie Infrarot-Wärmebild-Kameras an²⁾, bei denen aus sicherer Entfernung, also ohne Gefahr einer direkten Berührung, während des laufenden Betriebs



④ Meßwerterfassung eines Stromabzweigs – Standardausführung des Meßgeräts auf der Basis der Rogowski-Spule mit praktischem Schnellverschluß der Meßspule

Messungen durchgeführt werden können. Durch eine Früherkennung und damit rechtzeitige Instandsetzung/Erneuerung lassen sich so Stillstands- und Ausfallzeiten mit zugehörnden Folgekosten vermeiden.

4.3 Netzversorgungs-Analyse

Hier geht es weniger um das Thema „verdrosselte Blindleistungskompensation“ als

- 1) Zu beachten ist DIN 43 673. Die darin angegebenen Sollanzugsmomente sind gemäß Erfahrungen der Praxis um 10 % zu überschreiten.
- 2) Hersteller solcher Meßgeräte sind zum Beispiel: IR-Thermometer, Fabrikat Raytek, Typ Raynger PM Plus. Hersteller: Raytek Sensorik GmbH, 13189 Berlin.
Tragbare Wärmebildkamera, Fabrikat LAND, Typ CYCLOPS T135. Hersteller: Land Infrarot GmbH, 51381 Leverkusen.

vielmehr um eine „Erwärmung, Überhitzung, Zerstörung“ durch Oberwellen und die dazu erforderliche Kenntnis der „Verschmutzung“ des vorliegenden Versorgungsnetzes.

Der vermehrte Einsatz von nicht-linearen Lasten³⁾ führt zu einer immer stärkeren Verschmutzung bzw. Störung durch Oberwellen innerhalb des Stromversorgungsnetzes.

Bestimmte Oberschwingungen heben sich im Neutralleiter eines Dreiphasen-Vierleiter-Systems auf, andere addieren sich. Das wiederum führt neben höheren Strömen auch zu höheren Frequenzen, speziell im Bereich der 3. (150 Hz) und 5. (250 Hz), teilweise auch der 7. (350 Hz) Harmonischen.

Wechselströme mit höheren Frequenzen rufen eine weitere Erscheinung hervor: In benachbarten ferromagnetischen Werkstoffen (Stahlblech-Umhüllungen) entsteht eine magnetische Induktion. Durch diese wird in den leitfähigen Werkstoffen eine Wirkleistung erzeugt, die als Hystereseverluste auftritt. Neben den über zugehörige Leiter induzierten Spannungen und damit erzeugten Strömen verursachen **Wirbelstrom-Verluste** können diese **Verlustwärmen** eine erhebliche Überhitzung bewirken. Die aktuellen Kenntnisse über die Auswirkungen solcher Störquellen sind notwendig und zukünftig unumgänglich.

Beispiel: Der Schadensfall im Bild 3 zeigt eine NS-Hauptverteilung in einem Industriebetrieb, bei welcher weder die Erwärmung noch die Netzversorgung überwacht bzw. überprüft wurden. Durch schlechte Anpassung von Netzdrosseln an die angeschlossenen Verbraucher (Thyristorgleichrichter/Phasenanschnittsteuerung) führte ein erhöhter „Oberwellenstrom“ (Überstrom) zur Überhitzung des zugehörigen NH-Sicherungsschmelzeinsatzes. Dieser platzte und zündete einen Lichtbogen gegen das geerdete Schranksystem. Der Hauptschalter/Leistungsschalter löste erst nach großer Verzögerung aus, bedingt durch den nur geringen Überstrom.

Empfehlung:

- Regelmäßige Überwachung der Erwärmung innerhalb der Schaltgeräte-

kombination, insbesondere nach Änderungen/Erweiterungen.

- Aufspüren von Wärmenestern⁴⁾ und deren Begutachtung.
- Genaue Netzversorgungsanalyse über ein Echteffektivwert-Meßgerät⁴⁾; normale, mittelwert-bildende Meßgeräte zeigen einen bis zu 40 % niedrigeren Wert an.

5 Ausblick, Analyse, Anregungen

Angeregt durch die Maßnahmen auf dem Hochspannungs-(Mittelspannungs-)Sektor für Schaltanlagen sollte man das Gebiet der NS-Anlagen und -Verteilersysteme ebenfalls einer kritischen Analyse unterziehen. Die sich häufenden Schadensfälle sind Anlaß, die älteren (über 10 Jahre) NS-Anlagen zu überprüfen und die notwendigen Maßnahmen daraus abzuleiten. Hierzu gibt es viele technische Möglichkeiten der Beurteilung des Zustands der Anlagen und wie durch eine Nachrüstung einem Schaden vorgebeugt werden kann.

Literatur

- [1] Roth, A.: Nachrüstung des Lichtbogenschutzes beim Bedienen von Hochspannungs-Anlagen. Der Elektromeister de, München (1998)6, S. 432-437.
- [2] Jühling, J.: Unfälle durch elektrischen Strom. Der Elektromeister de, München (1998)17, S. 1514-1527.
- [3] Egyptien, H.-H.: Notwendigkeit der Prüfung elektrischer Anlagen und Betriebsmittel. Elektropraktiker, Berlin 50(1996)4, S. 285-287.
- [4] Hochbaum, A.: Brandschadenverhütung in elektrischen Anlagen. VDE-Schriftenreihe, Band 85, S. 79-88.
- [5] Rübsam, H.-J.; Voß, G.: VDE-Fachseminar: Aktuelles Update der Fachinformation über die Niederspannungs-Anlagentechnik für Hersteller und Anwender.
- [6] Rübsam, H. J.: Was haben Sie getan, den Schaden zu verhüten? Bulletin des SEV (Schweiz) (1996)1, S. 33- 38.
- [7] Naumann, W.; Küttner, H.; Wenge, J.; Schröder, H.-J.: Beurteilung des Zustands von Niederspannungs-Anlagen. Elektropraktiker, Berlin 53(1998)10, S. 940-942.
- [8] Kienitz, U.: Berührungslos messende Infrarot-Thermometer zur vorbeugenden Instandhaltung. Elektroanzeiger (1992) 6.
- [9] Voß, G.: Pionierleistung auf dem Gebiet der Strommessung. Der Elektromeister de, München (1996) 20, S. 1866-1867. ■

3) Nichtlineare Lasten sind elektronisch geregelte Schweißstationen, leerlaufende Transformatoren und Motoren, elektronisch geregelte (thyristorgesteuerte) Motorantriebe mit regelbarer Drehzahl, Computer, Drucker, Netzteile (USV-Anlagen), Leuchtstofflampen mit elektronischen Vorschaltgeräten u. a.

4) Prüfgeräte:
ROMETER (Bild 4) der Firma Bauer Prüf- und Meßtechnik GmbH, 41516 Grevenbroich gibt außerdem Informationen über
 – Analyse der Stromqualität hinsichtlich des Oberwellengehalts,
 – verkettete Ströme zur einfachen Fehleranalyse;
Fluke 40/41, Firma Fluke GmbH, 34123 Kasse, zur Diagnose und Überwachung von Stromversorgungsnetzen.

INFO

Fachtagung

Am 16./17. November 1999 findet in Mannheim eine Fachtagung statt, bei der die Nachrüstung von NS-Anlagen einen Schwerpunkt bildet. Die Organisation erfolgt durch die VDE-Zentrale für Tagungen in Frankfurt/M.
 Tel.: 069/63 08-202
 Fax: 069-96 31-52 13