

### **Zu 8.4.3 Fehlerschutz**

Bei Fehlern, die im Zusammenhang mit dem Schutz gegen elektrischen Schlag festgestellt werden, handelt es sich in der Regel um zufällige Fehler. Das heißt, es gibt keine systematischen oder gesetzmäßigen Zusammenhänge, sondern sie beruhen auf Zufällen, verursacht durch technische Defekte oder menschliches Fehlverhalten.

Die z. B. bei Wartungsarbeiten bestimmungsgemäß eingebrachte Erdungsgarnitur ist eine metallisch feste Verbindung zwischen allen aktiven Leitern und dem Schutzleiter/Erde. Dieser Erdschluss ist kein Fehler, sondern führt bei sachgerechter Ausführung zur Abschaltung einer Schutzeinrichtung. Das ist eine Maßnahme zum Schutz gegen elektrischen Schlag im Sinne des Fehlerschutzes.

Fehler innerhalb von Schaltgerätekombinationen können durch Gerätedefekt oder Versagen der Funktionsisolierung aktiver Leiter entstehen. In der Folge können berührungsgefährliche Spannungen an Körpern (z. B. an Teilen des Gehäuses) der Schaltgerätekombination auftreten. Der Fehlerschutz muss durch Abschaltung (bei Schutzklasse I) sicherstellen, dass die Gefahr eines elektrischen Schlages verhindert wird. Eine weitere Möglichkeit, dies zu erfüllen, ist die Anwendung der Schutzklasse II. Häufig geht ein solcher Fehler mit einem Störlichtbogen einher, der zwischen aktiven Leitern untereinander und/oder zu Gerüsten sowie Schrankteilen gezündet wird. Hohe Lichtbogenströme führen bedingt durch die frei werdende Energie in der Regel zur Zerstörung von Teilen der Schaltgerätekombination und zu Personengefährdung, unabhängig von der Gefahr eines elektrischen Schlags. Diese zusätzlichen Gefährdungen werden nicht allein durch den Schutz gegen elektrischen Schlag beherrscht.

#### **Zu 8.4.3.1 Errichtungsbedingungen**

Die grundlegenden Festlegungen zum Schutz gegen elektrischen Schlag sind für die Errichtung elektrischer Anlagen in VDE 0100-410 beschrieben.

Im Abschnitt 410.3.3 sind alle Schutzmaßnahmen aufgeführt, die in elektrischen Anlagen erlaubt sind und welche Bedingungen in Abhängigkeit vom Netzsystem dabei einzuhalten sind.

Die vorgegebene Schutzmaßnahme ist bei der Auswahl und Errichtung einer Schaltgerätekombination zu berücksichtigen. Dabei ist die Schutzklasse als neuer Begriff in der dritten Ausgabe 2021-10 der VDE 0660-600-1 eingeführt worden, siehe „Zu 8.4.1“.

In einem TT-System mit der Schutzmaßnahme durch automatische Abschaltung der Stromversorgung ist bei der Wahl der Schutzklasse folgendes zu beachten:

- Schaltgerätekombinationen können in Schutzklasse II ausgeführt werden oder
- Bei Schaltgerätekombinationen in Schutzklasse I muss eine Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) in der Einspeisung vorgesehen werden deren Zugangsanschlüsse in

verstärkter oder doppelter Isolierung auszuführen sind. Alternativ kann die Fehlerstromschutzeinrichtung vor der Schaltanlage in der Installation eingesetzt werden.

Andere Kombinationen zwischen Netzsystemen, Schutzmaßnahmen und den Schutzklassen I und II siehe Übersicht in „Zu 8.4.1“.

### **Zu 8.4.3.2 Anforderungen für den Schutzleiter zum Sicherstellen der automatischen Abschaltung der Stromversorgung**

#### **Zu 8.4.3.2.1 Allgemeines**

„Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung“ ist der in TN- und TT-Systemen am häufigsten angewandte Schutz gegen elektrischen Schlag. In Schaltgerätekombinationen muss zur Sicherstellung der Abschaltung für den Schutz bei Fehlern in der Schaltgerätekombination (z. B. durch Erdschluss) und für die Durchleitung von Erdschlusskurzschlussströmen bei Fehlern in Verbraucherstromkreisen ein durchgehender Schutzleiter eingebaut werden. Damit wird der durchgehende Schutzleiter in Schaltgerätekombinationen zu einem wichtigen Bindeglied zur Gewährleistung der Schutzmaßnahme in der gesamten elektrischen Anlage einschließlich aller daran angeschlossenen Verbraucher. Deshalb sollte der Schutzleiter als durchgehende blanke Schiene oder isolierte Aderleitung ausgeführt werden. Entsprechende Anforderungen gibt es in der Errichtungsbestimmung VDE 0100-540 für Schutzleiter.

Unter Einhaltung besonderer Bedingungen ist es alternativ zulässig auch Körper einer Schaltgerätekombination in Schutzklasse I wie z. B. Gerüste oder Schrankgehäuse als Schutzleiter zu verwenden (siehe Abschnitt „Zu 8.4.3.2.3“). Hierbei ist darauf zu achten, dass es durch den Ausbau von Teilen nicht zu einer Unterbrechung des durchgehenden Schutzleiters kommt.

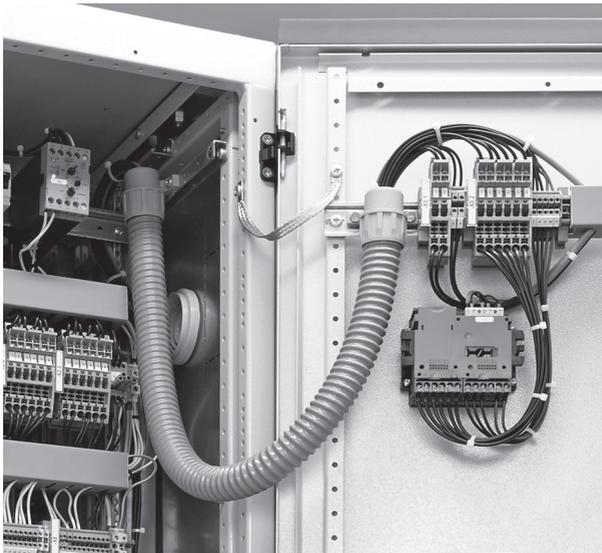
#### **Zu 8.4.3.2.2 Anforderungen für die durchgehende Schutzleiterverbindung zum Schutz gegen die Folgen von Fehlern innerhalb der Schaltgerätekombination in Schutzklasse I**

Fehler innerhalb von Schaltgerätekombinationen zwischen aktiven Leitern und Konstruktionsteilen/Gehäusen (z. B. Erdschlüsse durch Versagen einer Isolation) sind eher selten und wenn handelt es sich meistens um lichtbogenbehaftete Verbindungen mit hoher Impedanz. Die daraus resultierenden Fehlerströme müssen über eine metallische, sichere durchgehende Erdverbindung der Konstruktionsteile, Gerüste oder Gehäuse zur PE-Schiene geführt werden, die an den Schutzleiter der Einspeisung angeschlossen ist. Durch die Verbindung mit der speisenden Quelle erfolgt die automatische Abschaltung der Schutzeinrichtung für diesen Stromkreis in der Schaltgerätekombination. Dadurch wird verhindert, dass durch den inneren Fehler eine berührungsgefährliche Spannung anstehen bleibt. Der Fehler muss innerhalb einer vorgegebenen Zeit (maximale Ab-

schaltzeiten siehe DIN VDE 0100-410, Tabelle 41.1) durch eine Schutzeinrichtung abgeschaltet werden. Dafür müssen alle Körper mit dem Schutzleiter der Einspeisung wirksam verbunden werden. Der Übergangswiderstand all dieser Verbindungen zum ankommenden Schutzleiter muss kleiner gleich  $0,1 \Omega$  sein.

Für die dazu notwendige durchgehende Erdverbindung aller Metallteile (Körper) einer Schaltgerätekombination untereinander ist folgendes zu beachten:

- Bei Teilen einer Schaltgerätekombination, die im Rahmen von Arbeiten entfernt werden können (z. B. Türen, Deckel, Abdeckplatten), darf nach einer Demontage die durchgehende Erdverbindung der übrigen Teile nicht unterbrochen werden.
- Wenn in Teilen (Türen oder Seitenwände) elektrische Betriebsmittel eingebaut sind, die nicht durch ein PELV- oder SELV-System versorgt sind, müssen die Teile mit einem Schutzleiter nach {Tabelle 3} verbunden werden. Der Querschnitt muss entsprechend dem größten Bemessungsbetriebsstrom der Einbaugeräte bestimmt werden. Bei kleineren Betriebsspannungen (PELV- oder SELV-Systeme) und Bemessungsbetriebsströmen kleiner oder gleich 16 A sind metallische Schraubverbindungen oder Scharniere als Erdverbindung ausreichend (**Bild 8.4.3.2.2-1**).



**Bild 8.4.3.2.2-1** Tür mittels Erdungsband mit dem Schrankgerüst verbunden

Quelle: Gustav Hensel GmbH & Co. KG

Bei Körpern von Einbaugeräten ist die Erdverbindung mit dem Körper der Schaltgerätekombination mittels Verschraubung ausreichend. Ist dies nicht sichergestellt,

muss eine separate Erdverbindung, mit einem der Querschnitte nach { Tabelle 3 }, mit einem Konstruktionsteil (Körper) der Schaltgerätekombination hergestellt werden. Für Teile, bei denen die Gefahr eines elektrischen Schlages durch Berühren nicht besonders groß ist, braucht keine Erdverbindung hergestellt werden z. B.:

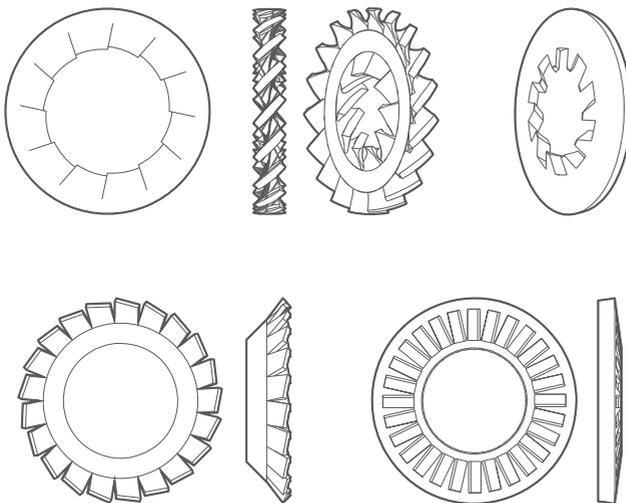
1. Schrauben, Typenschilder, Magnetkerne von Transformatoren;
2. kleine Teile, bis ca. 50 × 50 mm;
3. Teile, die nicht großflächig berührt oder mit der Hand umfasst werden können.

Alle anderen Körper der Schaltgerätekombination sind entweder durch metallische Verschraubung untereinander sowie mit dem ankommenden Schutzleiter in die Schutzmaßnahme eingebunden oder mit einem separaten Leiter mit dem Schutzleiter zu verbinden.

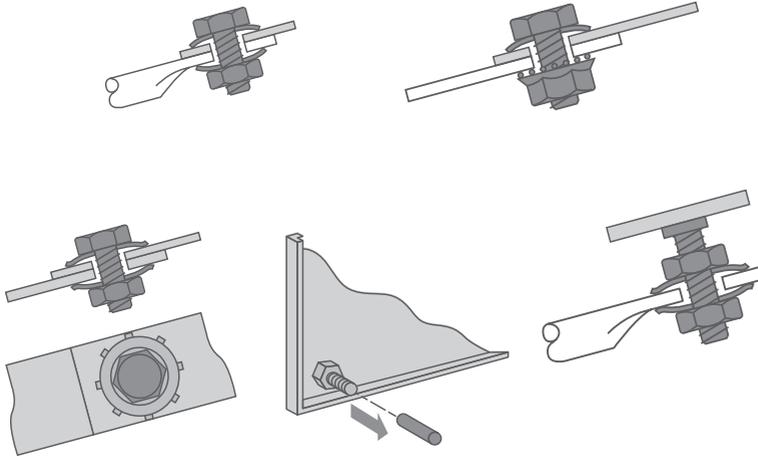
Wenn eine direkte Verbindung nicht möglich ist, muss eine Leiterverbindung mit dem Schutzleiter hergestellt werden. Hinsichtlich des Querschnitts dieses Leiters macht die Norm keine Vorgabe. Es wird jedoch empfohlen, diese Verbindungen mit 10 mm<sup>2</sup> auszuführen, um eine zuverlässige mechanische Verbindung sicherzustellen.

Bei herausnehmbaren Teilen ist die Verbindung als ausreichend anzusehen, wenn sie mit genügend Druck auf einem Körper aufliegen.

Bei lackierten Oberflächen müssen Verbindungsmittel eingesetzt werden, die eine Beschichtung zuverlässig durchdringen (**Bild 8.4.3.2.2-2** und **Bild 8.4.3.2.2-3**).



**Bild 8.4.3.2.2-2** Unterlegscheiben für elektrisch leitende Verbindungen  
Quelle: Planungskompandium Energieverteilung, Schneider Electric GmbH



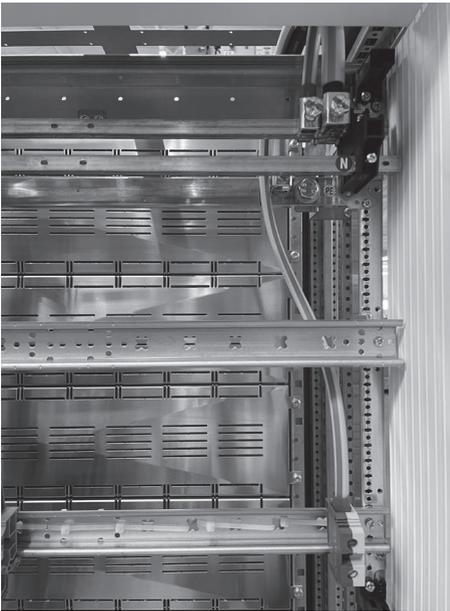
**Bild 8.4.3.2.2-3** Beispiele für die richtige Anordnung von Unterlegscheiben, Muttern und Anschlussbolzen, um elektrische Verbindungen herzustellen  
 Quelle: Planungskompodium Energieverteilung, Schneider Electric GmbH

**Zu 8.4.3.2.3 Anforderungen für Schutzleiter zum Schutz gegen die Folgen von Erdschlüssen in äußeren Stromkreisen, die durch die Schaltgerätekombination in Schutzklasse I oder II gespeist werden**

Ströme bei Erdschlussfehlern in äußeren Stromkreisen werden über deren PE- oder PEN-Leiter zu der sie speisenden Schaltgerätekombination und von dort über den Schutzleiter zur speisenden Quelle weitergeleitet. Ziel ist die schnelle Abschaltung des Fehlers über die dafür vorgesehene Schutzeinrichtung.

Damit kommt dem Schutzleiter in der Schaltgerätekombination bezogen auf die Fehlerbeherrschung eine große Bedeutung zu. Er muss den thermischen und dynamischen Beanspruchungen des größten Erdschlusskurzschlussstroms an der Einbaustelle der Schaltgerätekombination ohne Zerstörung standhalten.

Aus diesem Grund ist es zu empfehlen, einen separaten Schutzleiter (z. B. zwischen PE-Sammelschiene und Tragschiene für PE-Reihenklammern) in der Schaltgerätekombination zu verlegen.



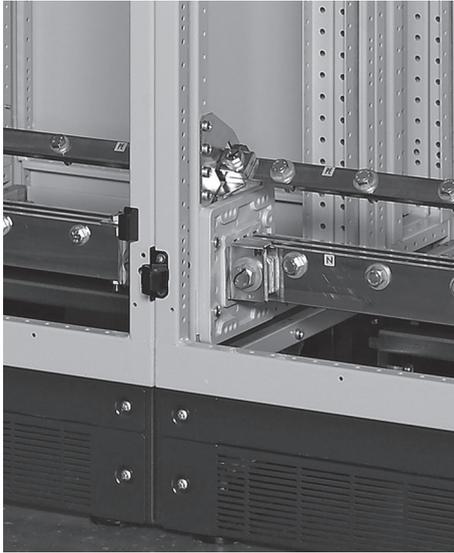
**Bild 8.4.3.2.3-1** Separater Schutzleiter zwischen PE-Sammelschiene und Tragschiene, direkt mit dem Schrankgerüst verbunden  
Quelle: Hager Electro GmbH & Co. KG

In Schaltgerätekombinationen der Schutzklasse I ist es zulässig, Körper (Gehäuse/ Gerüst) als Schutzleiter zu verwenden. Voraussetzung dazu ist, dass sie den höchsten thermischen und dynamischen Beanspruchungen standhalten, die am Aufstellungs- ort der Schaltgerätekombination im Falle eines Erdschlusses in äußeren, von der Schaltgerätekombination gespeisten Stromkreisen auftreten können. Aufgrund der verwendeten Werkstoffe für Körper (meistens Stahl), der geringen Querschnitte und der konstruktiven Anordnungen sind die erreichbaren Kurzschlussfestigkeiten zur Erfüllung der Anforderungen eher gering.

Deshalb sollten Körper von Schaltgerätekombinationen (Gehäuse/Gerüst) als Schutzleiter oder Teile eines Schutzleiters nur dann verwendet werden, wenn (bei höchstzulässigem unbeeinflussten Kurzschlussstrom ( $I_{cp}$ ) an den Eingangsklemmen der Schaltgerätekombination) der Durchlassstrom einer vorgeschalteten Schutzein- richtung 17 kA nicht überschreitet. Nach Abschnitt 10.11.2 wird für Stromkreise in Schaltgerätekombinationen bis zu diesem Durchlassstrom kein Nachweis der Kurzschlussfestigkeit gefordert.

Für den Nachweis der thermischen Festigkeit ist in diesem Fall eine Querschnittsbe- rechnung des Körpers in der Funktion des Schutzleiters ausreichend.

Ein Schutzleiter (PE) braucht in Schaltgerätekombinationen der Schutzklasse I nicht isoliert aufgebaut zu werden. Er kann direkt mit dem Gehäuse, Gerüsten und Konstruktionsteilen aus leitfähigem Werkstoff verbunden werden (**Bild 8.4.3.2.3-2**). Der Querschnitt darf nicht kleiner sein, als der mithilfe der Gleichung aus {Anhang B} berechnete. Die mechanische und thermische Festigkeit ist zusätzlich nach {Abschnitt 10.11.5.6} nachzuweisen.

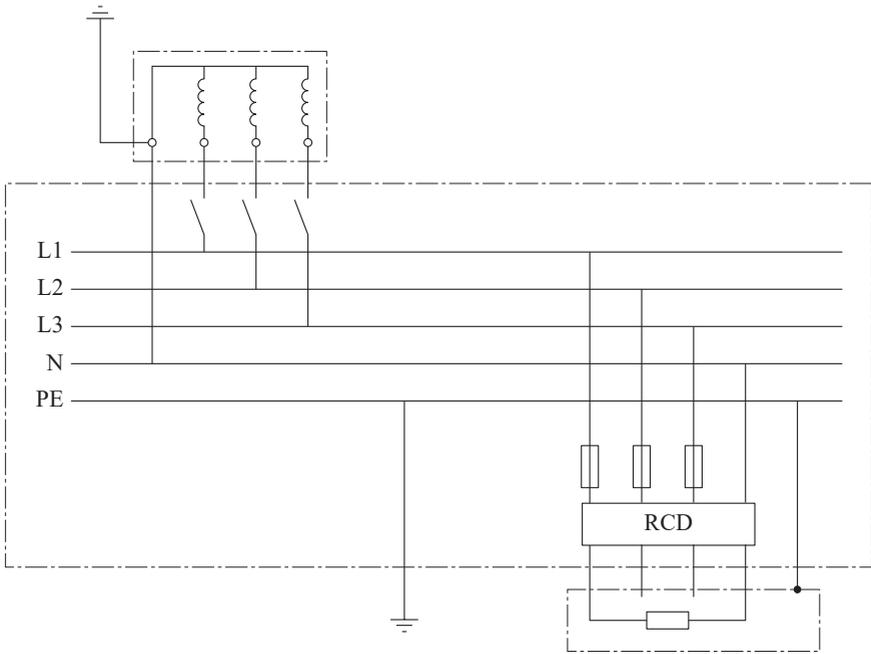


**Bild 8.4.3.2.3-2** PE-Schiene direkt mit dem Schrankgerüst verbunden  
Quelle: Gustav Hensel GmbH & Co. KG

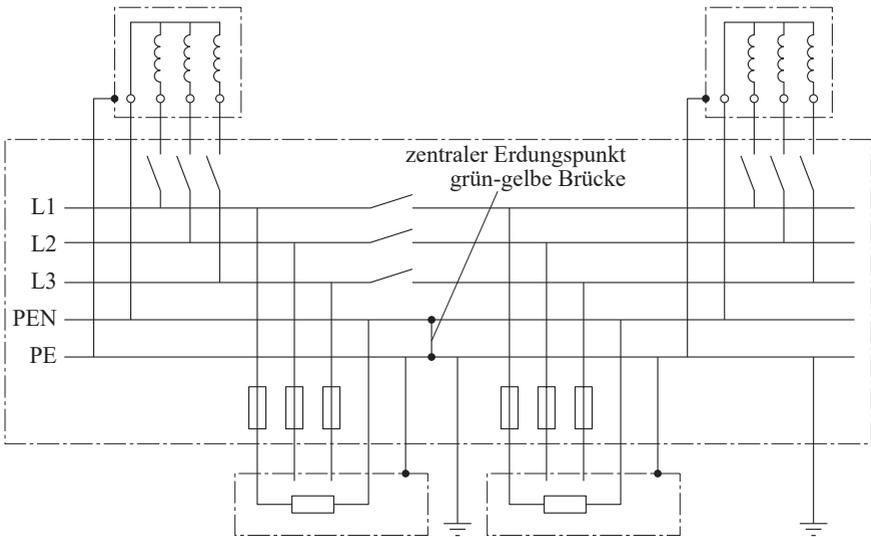
Ein PEN-Leiter braucht ebenfalls nicht isoliert aufgebaut zu werden. Konstruktionsteile sind als PEN-Leiter nicht zulässig, da PEN-Leiter auch Betriebsströme tragen. Eine Ausnahme sind spezielle Tragschienen aus Kupfer oder Aluminium, deren Stromtragfähigkeit nachgewiesen ist.

Zur Vermeidung von vagabundierenden Strömen sollte in Neuanlagen auf den PEN-Leiter verzichtet und entsprechend den Festlegungen in VDE 0100-444 immer ein TN-S-System vorgesehen werden. In Bestandsanlagen sollte eine Schaltgerätekombination, falls ein PEN-Leiter unumgänglich ist, so aufgebaut werden, dass eine spätere Umrüstung des PEN-Leiters in einen separaten PE- und N-Leiter ohne größeren Umbau möglich ist. Dazu ist es notwendig, dass der PEN-Leiter isoliert aufgebaut wird. Die **Bilder 8.4.3.2.3-3 bis 8.4.3.2.3-8** zeigen Beispiele für die Ausführung und Anordnung von Leitern in Schaltgerätekombinationen für TN- und TT-Systeme.





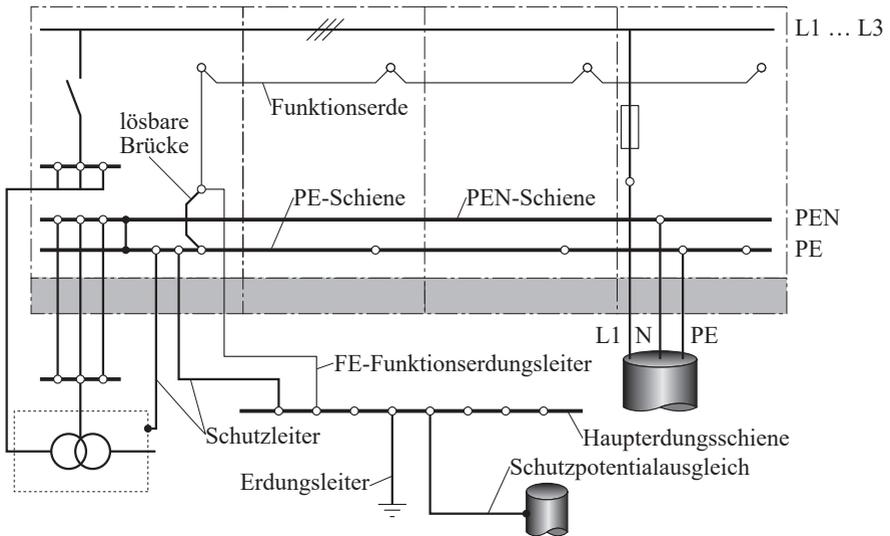
**Bild 8.4.3.2.3-5** TT-System, Einfacheinspeisung



**Bild 8.4.3.2.3-6** Mehrfacheinspeisung mit zentralem Erdungspunkt



**Bild 8.4.3.2.3-7** Beispiel einer Ausführung für den zentralen Erdungspunkt  
 Quelle: Gustav Hensel GmbH & Co. KG



**Bild 8.4.3.2.3-8** Erdungssystem nach VDE 0100-540

#### Zu 8.4.4 Zusätzliche Anforderungen für Schaltgerätekombinationen in Schutzklasse II

Der Gehäusewerkstoff (z. B. Isolierstoff) ist allein kein Kriterium dafür, ob eine Schaltgerätekombination alle Bedingungen der Schutzklasse II erfüllt.

Auch bei Schutzklasse II werden zwei Schutzziele betrachtet. Zum einen wird der Basisschutz (Verhindern des direkten Berührens gefährlicher aktiver Teile im Inneren) und zum anderen der Fehlerschutz (Verhindern, dass bei einem inneren Fehler außen eine gefährliche Berührungsspannung ansteht) betrachtet.

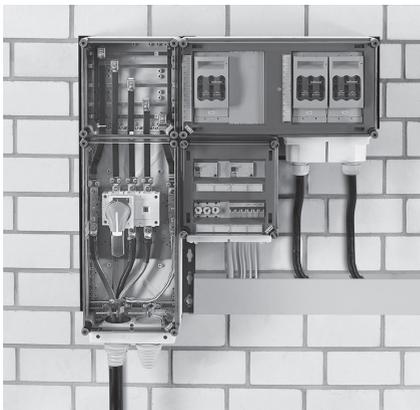
Bei dem Basisschutz besteht die Anforderung wie bei Schutzklasse I, den Schutzgrad von IPXXB einzuhalten, siehe {8.4.2} und {8.4.2.3}. Dies entspricht der Aussage in {8.4.4 e)}.

Bei inneren Fehlern kann es dazu kommen, dass blanke Aderleitungen oder Sammelschienen an Abdeckungen oder Gehäuseteilen anliegen. Da bei Schutzklasse II ein Fehlerschutz durch automatische Abschaltung mittels Schutzleiter nicht vorgesehen ist, müssen Abdeckungen und zumindest die inneren Gehäuseteile aus Isolierstoff bestehen. Ein Fall der hier mitbetrachtet werden muss, ist z. B. die Situation, wenn ein aktiver Leiter sich löst und sich gegen Gehäuseteile an deren Fügstellen oder Öffnungen anlegt. Deshalb wird für das Gehäuse bzw. den geschützten Raum mindestens der Schutzgrad IP2XC gefordert.

Generell muss bei der Schutzklasse II die Anforderung der doppelten Isolierung oder verstärkten Isolierung erfüllt werden.

Nachstehend werden die besonders in Deutschland und Teilen von Europa bekannten Ausführungsarten von Schaltanlagen systemen in Schutzklasse II erläutert:

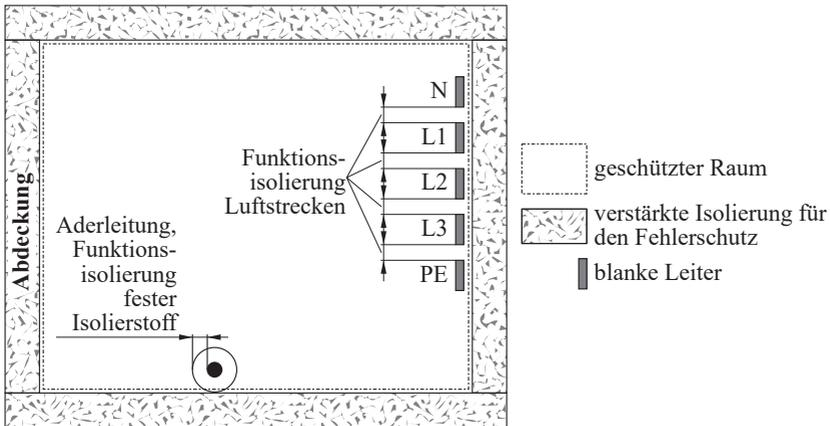
- Kastenbauform aus Isolierstoff (Gehäuseunterteile und Deckel) (siehe **Bild 8.4.4-1**)



**Bild 8.4.4-1** Beispiel einer Schaltgerätekombination in Schutzklasse II  
Quelle: Gustav Hensel GmbH & Co. KG

Alle eingebauten elektrischen Betriebsmittel sind vollständig von Isolierstoff umhüllt. Blanke aktive Leiter (z. B. Sammelschienen) sind gegeneinander durch Luftstrecken funktionsisoliert in Isolierstoffträgern gehalten. Schutzleiter sind zu Körpern isoliert wie zu aktiven Leitern. Aktive Leiter für kleinere Bemessungsströme sind für ihre Funktion isoliert (Aderleitung).

In diesen Systemen ist die Schutzklasse II umgesetzt durch die „verstärkte Isolierung“.



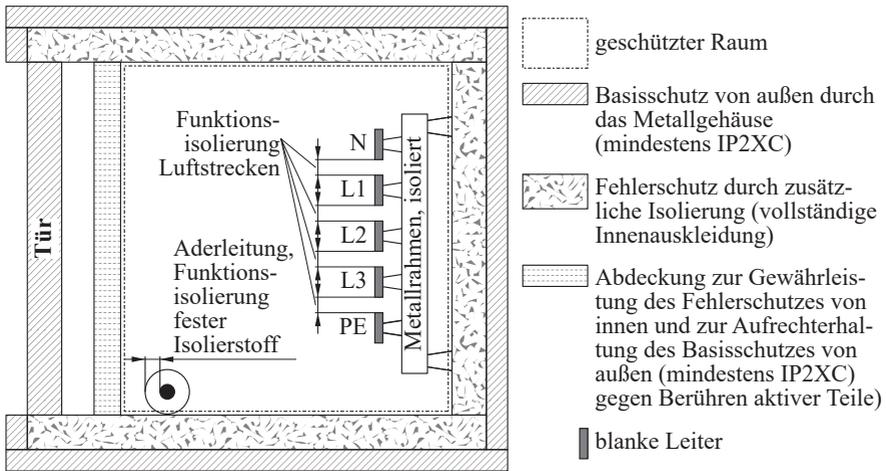
**Bild 8.4.4-2** Betrachtung der verstärkten Isolierung bei inneren Fehlern

- Schrankgehäuse aus Metall (Schrank mit Tür, Schrankgerüst ist verkleidet mit Rückwand, Seitenwänden und Tür) zur Einzelaufstellung und anreihbar.

Das Schrankgehäuse ist innen allseitig mit Isolierstoff (Profile/Abdeckplatten) ausgekleidet und bildet so den „geschützten Raum“ (siehe Abschnitt {3.14.15}). Alle elektrischen Betriebsmittel sind auf einem Metallgerüst montiert, das isoliert vom Schrank im geschützten Raum befestigt ist. Das Metallgerüst ist nicht mit dem Schutzleiter verbunden. Aktive Leiter sind funktionsisoliert (z. B. Sammelschienen) in Isolierstoffträgern gehalten und isoliert auf dem Gerüst befestigt. Schutzleiter sind zu aktiven Leitern und Körpern einschließlich dem Gehäuse isoliert wie zu aktiven Leitern. Aktive Leiter für kleinere Bemessungsströme sind für ihre Funktion isoliert (Aderleitung) und da diese gegen mechanische Einwirkungen innerhalb der Niederspannungsschaltgerätekombination geschützt verlegt sind, erfüllt die Funktionsisolation in diesem Fall auch den Anspruch der Basisisolation.

In diesem System ist die Schutzklasse II umgesetzt durch „doppelte Isolierung“.

Der Fehlerschutz wird erreicht durch die zusätzliche Isolierung (allseitige Isolierstoffauskleidung) im Inneren des Schrankgehäuses. Beim Versagen der Basisisolation aktiver Teile im geschützten Raum schützt die zusätzliche Isolierung gegen die Gefahr eines elektrischen Schlags.



**Bild 8.4.4-3** Betrachtung der zusätzlichen Isolierung bei inneren Fehlern

Die Schutzklasse II ist in allen Netzsystemen anwendbar, benötigt keinen Schutzleiter und verhält sich zu allen Schutzmaßnahmen neutral. Einsatzbereiche für Schaltgerätekombinationen in Schutzklasse II gibt es z. B. dort, wo das Netzsystem entweder nicht bekannt ist, in Teilen eines TT-Systems oder falls die bekannten Netzsysteme nicht umsetzbar sind (z. B. PV-Systeme auf der DC-Seite).

Das Ein- und Ausführen von Kabeln und Leitungen muss ebenfalls den Bedingungen der doppelten oder verstärkten Isolierung entsprechen, z. B. durch Verwendung von Kabelverschraubungen aus Isolierstoff.

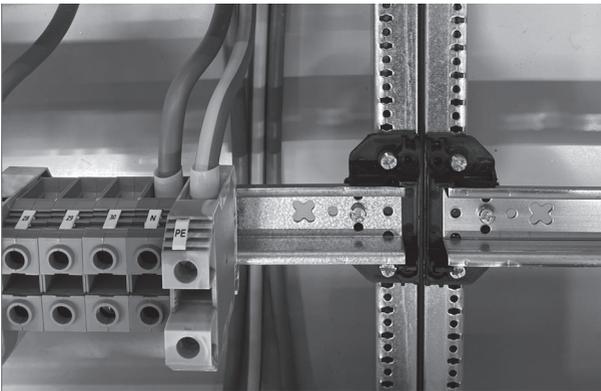
In der Praxis findet man in wenigen Fällen auch Schaltgerätekombination mit Gehäusen aus Isolierstoff, die in Schutzklasse I ausgeführt sind (siehe Abschnitt {3.7.24}, {Anmerkung 2}). In diesen Fällen übernimmt das Gehäuse nur den Basisschutz. Für den Schutz gegen innere Fehler und die Durchleitung von Fehlern in äußeren Stromkreisen wird ein Schutzleiter benötigt. Anwendungen ergeben sich aus besonderen Umgebungsbedingungen, bei denen Gehäuse aus Metall nicht geeignet sind.

Der Nachweis über die Einhaltung der doppelten oder verstärkten Isolierung ist entsprechend dem Korrigendum IEC 61439-1:2020/COR1:2021 zu Abschnitt {9.1.1} zu erbringen. Der in diesem Abschnitt enthaltene Verweis auf die Isolationsanforderungen der VDE 0110-1 ergibt sich aus den erhöhten Anforderungen an die Isolierung einer Schaltgerätekombination der Schutzklasse II im Unterschied z. B. zu einer Schaltgerätekombination der Schutzklasse I mit einem Gehäuse aus Isolierstoff.

Die Isolation muss für die größte Bemessungsisolationsspannung und Bemessungsstoßspannungsfestigkeit der Stromkreise in einer Schaltgerätekombination ausgelegt sein. Zusätzlich ist für Gehäuse und Bediengriffe aus Isolierstoff eine höhere Prüfwechselspannung gefordert, siehe {Abschnitt 10.9.4 und 10.9.5}.

Innerhalb einer Schaltgerätekombination in Schutzklasse II wird ein ggf. durch das Gehäuse geführter Schutzleiter, einschließlich seiner Anschlussklemmen, wie ein aktiver Leiter isoliert verlegt und Körper wie z. B. Tragschienen, Gerüste und Montageplatten dürfen nicht mit ihm verbunden werden.

Ausdrücklich ausgenommen hiervon sind Tragschienen, die ausschließlich zur Aufnahme von Reihenklemmen vorgesehen sind. Reihenklemmentragschienen müssen deshalb isoliert z. B. auf Gerüsten aufgebaut und durch einen PE-Leiter mit dem ankommenden Schutzleiter verbunden werden.



**Bild 8.4.4-4** Beispiele isoliert aufgebauter Reihenklemmentragschienen mit PE-Reihenklemme  
Quelle: Hager Electro GmbH & Co. KG

Bei Schaltgerätekombinationen in Schutzklasse II, deren äußere berührbare Hülle einschließlich Türen aus Stahlblech besteht, wird die Stahlblechhülle nicht mit dem ankommenden Schutzleiter verbunden. Es handelt sich hierbei um „leitfähige Teile“, die auch im Fehlerfall keine Berührungsspannung annehmen können. Es darf keine metallische Verbindung mit einem innen liegenden Traggerüst bestehen, um jegliche Spannungsverschleppung von innen nach außen zu vermeiden. Die Verbindung der Stahlblechhülle zum Zwecke des Potentialausgleichs ist zulässig, wenn dies die Aufstellung erfordert. Der Einbau von elektrischen Betriebsmitteln in Türen solcher Schaltgerätekombinationen und deren Versorgung aus dem geschützten Bereich heraus müssen die Bedingungen der doppelten Isolierung der Schutzklasse II erfüllen.

### Zu 8.4.5 Begrenzung von Berührungsstrom und Ladung

Wenn in einer Schaltgerätekombination z. B. Kondensatoren und Batterien eingebaut sind, kann es bei Arbeiten zu Gefahrensituationen kommen, da diese Betriebsmittel auch nach Abschaltung der Einspeisung unter Umständen zu hohe Berührungsspannungen aufweisen.

Beispielsweise muss bei Batterien mit Nennspannungen über 60 V zusätzlich zu Basisschutz und Fehlerschutz ein Warnhinweis angebracht werden.

Innerhalb von Schaltgerätekombinationen der Schutzklasse II darf der Körper (metallische Hülle) von Kondensatoren oder Batterien nicht mit dem Schutzleiter verbunden werden.

Leistungskondensatoren werden über geeignete Widerstände oder Drosselspulen in 5 s bis zu einigen Minuten auf eine Spannung von weniger als 10 % der Nennspannung entladen. Spannungen, die in weniger als 5 s auf unter 120 V sinken, gelten nach vorliegender Norm als nicht berührungsgefährlich. In diesem Fall sind Warnhinweise nicht erforderlich. Sind die Entladezeiten länger, sollten spannungsführende Teile je nach Lage fingersicher oder mindestens handrücksicher ausgeführt werden, zusätzlich kann das Hinweisschild aus DIN 4844-1 und DIN EN ISO 7010 P010 „Berühren verboten“ eingesetzt werden.



**Bild 8.4.5** Hinweisschild gemäß DIN 4844-1 und DIN EN ISO 7010 P010 „Berühren verboten“

Beschaltungskondensatoren, z. B. für Lichtbogenlöschung oder verzögertes Abfallen von Relais, werden häufig so eingebaut, dass sie nicht berührt werden können und gelten in diesem Fall als ungefährlich.

### Zu 8.4.6 Bedienungs- und Instandhaltungsbedingungen

Es handelt sich hierbei um Bedingungen, die im weitesten Sinn notwendig sind, wenn an Schaltgerätekombinationen gearbeitet wird oder Geräte bedient werden sollen.

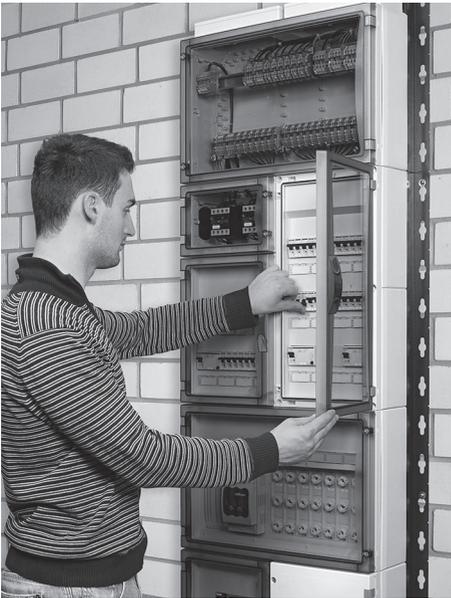
Das Errichten, Ändern und Instandsetzen von Schaltgerätekombinationen und deren Betriebsmittel fallen in den Bereich „Arbeiten“. Das „Bedienen“ meint Tätigkeiten,

die an Einstell-, Schalt- und Steuergeräten durchgeführt werden, z. B. die Betätigung eines Lastschalters oder Leitungsschutzschalters.

#### **Zu 8.4.6.1 Durch Laien zu bedienende Geräte oder zu ersetzende Bauteile**

Die Bedienung durch (elektrotechnische) Laien setzt einen vollständigen Berührungsschutz durch entsprechende Abdeckungen und die Umhüllung der elektrischen Betriebsmittel hinter Türen oder Deckeln voraus. Sie dürfen nur mittels eines Werkzeugs entfernbar sein und müssen mindestens den Schutzgrad IPXXC aufweisen.

Als einzige Ausnahme sind beim Austausch von Schraub­sicherungen bis 63 A oder Leuchtmitteln größere Öffnungen zulässig. Aus Gründen des Personenschutzes sollte bei Schraub­sicherungen eine vorgeordnete Schutz­einrichtung mit einem Durchlass­strom nicht größer als 17 kA vorgesehen sein.



**Bild 8.4.6.1** Schraub­sicherungen und Leitungsschutzschalter dürfen durch Laien bedient werden  
Quelle: Gustav Hensel GmbH & Co. KG

## **Zu 8.4.6.2 Anforderungen an die Zugängigkeit für befugte Personen während des Betriebs**

### **Zu 8.4.6.2.1 Allgemeines**

Neben den nachstehenden Anforderungen an die konstruktive Ausgestaltung der Schaltgerätekombination weisen wir in diesem Zusammenhang auf die Vorschrift 3 der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung hin (DGUV-Vorschrift 3). In ihr wird u. a. die Qualifikation „befugter Personen“ beschrieben und im Hinblick auf bestimmte Tätigkeiten festgelegt.

Die Klärung der konkreten Anwendung im Betrieb und der erforderlichen Zugängigkeit für befugte Personen erfordert eine Vereinbarung zwischen dem Hersteller der Schaltgerätekombination und dem Kunden. Dabei sind für die Tätigkeiten:

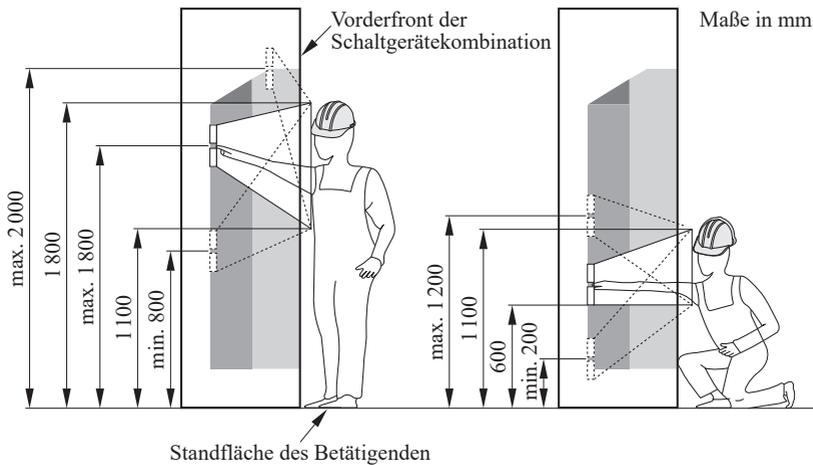
- Überwachung,
- Wartungsarbeiten,
- Erweiterung unter Spannung

mindestens die Anforderungen der nachfolgenden Abschnitte zu erfüllen. Je nach Komplexität der Schaltgerätekombination und Anspruch an die Verfügbarkeit können darüber hinaus weitere konstruktive Festlegungen vereinbart werden.

### **Zu 8.4.6.2.2 Anforderungen an die Zugängigkeit für Überwachung und ähnliche Handlungen**

Die in diesem Abschnitt beschriebenen Handlungen erfordern besondere Maßnahmen, wenn nach dem Öffnen von Türen, Deckeln oder Berührungsschutzabdeckungen zugängliche Betriebsmittel in der Nähe gefährlicher aktiver Teile angeordnet sind.

In der VDE 0660-514 „Schutz gegen elektrischen Schlag – Schutz gegen unabsichtliches direktes Berühren gefährlicher aktiver Teile“ ist die Ausführung eines teilweisen Berührungsschutzes beschrieben, der in derartigen Fällen eingehalten werden muss. Diese Forderung ist auch dann einzuhalten, wenn die Handlung von einer Elektrofachkraft ausgeführt wird.



**Bild 8.4.6.2.2** Höchst- und Mindestwerte der Höhen der Basisfläche bei Betätigung abhängig von der Körperhaltung  
 Quelle: VDE 0660-514:2002-11, Bild 2

### Zu 8.4.6.2.3 Anforderungen an die Zugänglichkeit für Wartungsarbeiten

Hierbei handelt es sich um „Arbeiten in der Nähe spannungsführender Teile“, die in der VDE 0105-100 und der DGUV-Vorschrift 3 geregelt werden, mit den entsprechenden Festlegungen an die Qualifikation der handelnden Person und der durchzuführenden Maßnahmen.

Wegen der steigenden Anforderung an die Verfügbarkeit wird es immer schwieriger, eine Schaltgerätekombination ganz oder in Teilen freizuschalten. Folgende Maßnahmen können die Wartungsarbeiten erleichtern:

- Anwendung der Formen der inneren Unterteilung, z. B. Form 4b (nach VDE 0660-600-2); hierbei sind Betriebsmittel von den Sammelschienen, von ihren Anschlüssen und untereinander so unterteilt, dass ein Schutz gegen das Berühren und Hereinfallen von Fremdkörpern gegeben ist (IP2X);
- Einspeisungen in separaten Schaltfedern getrennt von Abgangsstromkreisen projektieren;
- relevante Betriebsmittel der Steuer- und Hilfsstromkreise in separaten Abteilen {Abschnitt 3.2.9} oder Feldern anordnen;
- Ausführung der Funktionseinheiten/Geräte in Stecktechnik oder Einschubtechnik (siehe VDE 0660-600-2);
- fingersichere Geräteanschlussklemmen und Reihenklemmen verwenden.

Jede Maßnahme kann für sich allein oder kombiniert berücksichtigt werden.

#### **Zu 8.4.6.2.4 Anforderungen an die Zugänglichkeit für Erweiterungen unter Spannung**

Die Erweiterungen einer Schaltgerätekombination unter Spannung beziehen sich ausschließlich auf die Nachrüstung von Funktionseinheiten oder Teilen davon bzw. einzelnen Stromkreisen. Die Erweiterung von Hauptsammelschienen unter Spannung ist üblicherweise nicht möglich.

Es sind die vorgenannten Maßnahmen {Abschnitt 8.4.6.2.3} bezüglich der Ausführung der Funktionseinheiten und der inneren Unterteilung zu berücksichtigen. Zudem sind die relevanten Normen und die Vorschriften der Berufsgenossenschaft hinsichtlich Arbeitssicherheit zu beachten.

Grundsätzlich muss die Erweiterungsmöglichkeit einer Schaltgerätekombination vorab vereinbart werden, damit sie im Rahmen der Projektierung (z. B. Bemessungswerte, Anordnung von Reserveplätzen) und konstruktiver Ausgestaltung berücksichtigt werden kann.

Die Erweiterung einer Schaltgerätekombination über den vereinbarten Rahmen hinaus erfordert immer zuvor eine Abstimmung mit dem Hersteller der Schaltgerätekombination.

#### **Besonderheiten in der VDE 0660-600-2**

##### **Zu 8.4.6.2.101 Bedienungs- und Wartungsgänge in einer PSC-Schaltgerätekombination**

**Bedienungs- und Wartungsgänge innerhalb einer Schaltgerätekombination** müssen zwischen dem Hersteller einer Schaltgerätekombination und dem Kunden vereinbart werden. Die Konstruktion einer solchen Anlage ist heute nicht mehr üblich. Sollte dies jedoch gefordert werden, müssen alle Anforderungen zum Basisschutz nach VDE 0140-1 eingehalten werden. Siehe hierzu auch {Abschnitt 8.4.2}.

#### **Zu 8.5 Einbau von Schaltgeräten und Betriebsmitteln**

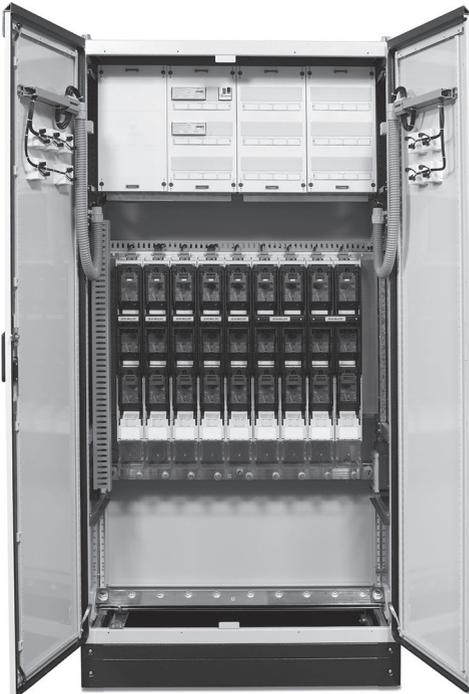
Die Normreihe VDE 0660-600 verwendet die missverständliche Formulierung „Schaltgeräte und Betriebsmittel“, obwohl der Begriff „Betriebsmittel“ die „Schaltgeräte“ einschließt. Deshalb wird stattdessen in diesem Buch nur der Begriff „Betriebsmittel“ verwendet.

Der Einbau von Betriebsmitteln in eine Schaltgerätekombination erfordert im Rahmen der Projektierung eine intensive Betrachtung der Herstellerangaben zu den Betriebsmitteln (z. B. Schaltgeräte). Diese Angaben basieren in der Regel auf Betriebsbedingungen für Einzelaufstellung in freier Luft bei Umgebungstemperaturen zwischen 25 °C und 35 °C, die sich von der Einbausituation in Schaltgerätekombi-

nationen deutlich unterscheiden. Aufgrund der kompakten Bauweise vieler Geräte ist u. a. die Abstimmung der elektrischen Bemessungswerte mit den Verhältnissen in der Schaltgerätekombination eine wichtige Voraussetzung für ihren sicheren Betrieb. Der Einbau der Schaltgeräte kann z. B. in Festeinbautechnik (Einsatz) oder in Stecktechnik (herausnehmbares Teil) erfolgen.

### Zu 8.5.1 Einsätze

Ein Einsatz (siehe auch {Abschnitt 3.2.1}) beschreibt den festen Einbau von Betriebsmitteln einzeln oder in Gruppen und betrifft sowohl die mechanische Befestigung als auch die elektrische Verbindung der Hauptstromkreise, die nur im spannungsfreien Zustand mittels Werkzeug hergestellt oder gelöst werden kann. Hieraus abgeleitet ist es notwendig, beim Austausch eines Einsatzes z. B. zu Wartungszwecken die Schaltgerätekombination ganz oder in Teilen freizuschalten. Verbindungen zu Hilfsstromkreisen können in Stecktechnik (Steckverbinder) ausgeführt sein.



**Bild 8.5.1** Schaltgerätekombination in Festeinbautechnik  
Quelle: Gustav Hensel GmbH & Co. KG