

Erreichen zwei periodische Vorgänge gleicher Frequenz zu verschiedenen Zeiten ihre Nullwerte und zu verschiedenen Zeiten ihre Scheitelwerte, so sind die periodischen Vorgänge phasenverschoben (zeitlich). Die Größe der zeitlichen Verschiebung nennt man Phasenverschiebung. Von besonderer Bedeutung ist die zwischen Spannung und Strom bestehende Phasenverschiebung. Sie wird durch den Phasenverschiebungswinkel angegeben. Geht die Spannung z. B. früher durch Null als der Strom, so spricht man davon, dass die Spannung dem Strom voreilt, der Phasenverschiebungswinkel ist dann positiv, hingegen wird er negativ, wenn die Spannung dem Strom nacheilt.

Bei der Ermittlung der zulässigen Kabel- und Leitungslängen bei vorgegebenem Spannungsfall ist berücksichtigt, dass der Phasenverschiebungswinkel des Bemessungsstroms und der Impedanzwinkel des Kabels bzw. der Leitung gleich sind. Bei hiervon abweichenden Phasenverschiebungswinkeln ergeben sich größere zulässige Leitungslängen. Bei Einhaltung der oben genannten Werte liegt der Errichter immer auf der sicheren Seite.

## Photovoltaik

*DIN VDE 0100-712*  
(VDE 0100-712)

*Errichten von Niederspannungsanlagen*  
*Solar-Photovoltaik-(PV-)Stromversorgungssysteme*

Die Anforderungen gelten für elektrische Anlagen von Photovoltaik-Versorgungssystemen (PV-Systemen), die ausschließlich für den Parallelbetrieb mit einer aus dem öffentlichen Versorgungsnetz gespeisten Installationsanlage vorgesehen sind.

### Erdverbindungen

- PV-Systeme ohne einfache oder sichere Trennung mit einem TN- oder TT-System:  
Es dürfen auf der Gleichspannungsseite aktive Leiter nicht geerdet werden.
- Einfache und sichere Trennung zwischen Wechsel- und Gleichspannungsseite:  
Es darf auf der Gleichspannungsseite des PV-Wechselrichters ein aktiver Leiter geerdet werden.

## Schutz gegen elektrischen Schlag

- Schutz durch SELV oder PELV  
SELV ist nicht anwendbar, wenn wegen des Schutzes der Überspannung eine Erdung der leitfähigen Konstruktionsteile erforderlich ist.
- Die Leerlaufgleichspannung des PV-Generators unter Standard-Bezugsbedingungen (SRC – Standard Reference Conditions) darf 120 V bei SELV oder PELV nicht übersteigen.
- Auf den Schutz bei indirektem Berühren kann beim PV-Generator unabhängig von der Höhe des Spannung verzichtet werden, wenn er in einer abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätte errichtet oder mindestens 2,50 m über der Zugangsebene angeordnet ist.  
In der Umgebung des PV-Generators sind Warnschilder anzubringen.
- Der Schutz der automatischen Abschaltung der Stromversorgung auf der Gleichspannungsseite des PV-Wechselrichters ist normalerweise nicht möglich, da die geforderte Abschaltzeit nicht eingehalten werden kann.
- Anforderungen auf der Wechselspannungsseite des PV-Wechselrichters:  
Der PV-Wechselrichter muss mit der Versorgungsseite der Schutzeinrichtungen der Verbraucheranlage verbunden sein.  
Die Spannung auf der Wechselspannungsseite wird im Fehlerfall in 5 s auf 50 V begrenzt.
- Für die Gleichspannungsseite der PV-Anlage sollte vorzugsweiser Schutz durch Schutzklasse II oder gleichwertige Isolierung angewendet werden.
- Falls das Gehäuse des PV-Wechselrichters nicht der Schutzklasse II entspricht, ist zusätzlich ein örtlicher Potentialausgleich wegen eines möglichen Fehlers auf der Gleichspannungsseite des Wechselrichters erforderlich, der die berührbaren, fremden leitfähigen Teile mit dem Gehäuse des PV-Wechselrichters verbindet.
- Schutz durch nicht leitende Räume auf der Gleichspannungsseite des PV-Wechselrichters und Schutz durch erdfreien örtlichen Potentialausgleich ist nicht anwendbar.

## Weitere Anforderung:

- Die PV-Strangkabel oder -leitungen müssen in einem Strang den 1,25-fachen Wert des Kurzschlussstroms unter Standardprüfbedingungen ( $I_{SC\ STC}$ ) dauernd führen können, den zweifachen Wert bei zwei oder mehr Strängen.  
Für PV-Array-Kabel oder -leitungen gilt der zweifache Wert, für PV-Gleichstrom-Hauptkabel oder -leitungen der 1,25-fache Wert des betreffenden Generators. Bei parallelen Kabeln oder Leitungen für den Anschluss einzelner PV-Module kann der Schutz bei Überlast entfallen, wenn sie den Kurzschlussstrom der parallel geschalteten Module dauernd führen können.

- Zwischen PV-Generator und PV-Wechselrichter ist eine leicht erreichbare Trenneinrichtung (Strom- und Spannungsangaben nach Angaben des Herstellers) vorzusehen. Liegen keine Herstellerangaben vor, gilt, dass die Schalteinrichtung für den 1,25-fachen Wert des Kurzschlussstroms unter Standardprüfbedingungen und den 1,15-fachen Wert der Spannung des unbelasteten Stromkreises und Standardprüfbedingungen ( $U_{OC\ STC}$ ) ausgelegt sein muss.
- Wenn die Gleichspannung der unbelasteten Stromkreise 120 V übersteigt, sollten PV-Module mit der Schutzklasse II oder mit einer gleichwertigen Isolierung eingesetzt werden.
- Werden Sperrdioden eingesetzt, muss ihre Sperrspannung für  $2 \cdot U_{OC\ STC}$  bemessen sein.
- Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCDs) dürfen nicht durch DC-Fehlerströme beeinflusst werden.
- Leitungen oder Kabel auf der Gleichstromseite müssen so ausgelegt werden, dass das Risiko eines Erdschlusses oder Kurzschlusses minimiert wird (Verstärkung durch Verlegen von Einleiterkabeln oder -leitungen).
- Die Anzahl der Verbindungen auf der Gleichstromseite sollte so gering wie möglich sein.
- Beim Fehlen eines Blitzschutzes für die Betriebsmittel sollten die Außenleiter L+ und L- des PV-Gleichstrom-Hauptkabels oder der -leitung durch Überspannungs-Schutzeinrichtungen, vorzugsweise vom Typ Metalloxid, in der Nähe des PV-Wechselrichters geschützt werden.
- Bei der Auswahl der Trenneinrichtung zwischen PV-Anlage und öffentlicher Stromversorgung müssen das Netz als Stromquelle und die PV-Anlage als Last betrachtet werden.
- Folgende Hinweise sind am Schaltschrank mit den PV-Versorgungskabeln oder -leitungen vorzusehen:
  - „Sicherungen dürfen nicht entfernt und Trenneinrichtungen dürfen nicht unter Lastbedingungen geschaltet werden“, wenn solche Einrichtungen im Gleichspannungsbereich des PV-Wechselrichters angeordnet sind.
  - „Eine aktive Stromquelle ist angeschlossen.“
  - Am PV-Generator-Anschlusskasten:  
„Aktive Teile im PV-Generator-Anschlusskasten können nach dem Trennen von PV-Wechselrichter unter Spannung stehen.“

### Einige Begriffe:

- Standardprüfbedingen (STC):  
Prüfbedingen, die in der DIN EN 60904-3 für PV-Zellen und PV-Module festgelegt sind.

- Spannung des unbelasteten Stromkreises unter Standardprüfbedingungen ( $U_{OC\,STC}$ ):  
Spannungen unter Standardprüfbedingungen an einem unbelasteten PV-Modul, PV-Strang, PV-Teilgenerator oder auf der Gleichspannungsseite des PV-Wechselrichters.
- Kurzschlussstrom unter Standardprüfbedingungen ( $U_{OC\,STC}$ ):  
Kurzschlussstrom eines PV-Moduls, PV-Strangs, PV-Teilgenerators oder PV-Generators unter Standardprüfbedingungen.

*Literatur:*

- *Schlabbach, J.: Netzgekoppelte Photovoltaikanlagen. Reihe Anlagentechnik für elektrische Verteilungsnetze; Cichowski, R. R. (Hrsg.). Berlin · Offenbach: VDE VERLAG, 2011*

## Planung elektrischer Anlagen

**DIN VDE 0100-100**  
(VDE 0100-100)

**Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1 000 V**  
*Bestimmungen allgemeiner Merkmale*

**DIN VDE 0100-510**  
(VDE 0100-510)

**Errichten von Niederspannungsanlagen**  
*Allgemeine Bestimmungen*

Die Planung bzw. Projektierung einer elektrischen Anlage ist ein wichtiger Abschnitt innerhalb der Gesamtaufgabe der Errichtung elektrischer Anlagen. Bei der Planung werden aus technischer und ökonomischer Sicht die „Weichen“ gestellt. Früher war die Planung der elektrischen Anlagen weitestgehend in einem eigenen Teil 300 der DIN VDE 0100 geregelt. Die Anforderungen aus dem Teil 300 sind nun in DIN VDE 0100-100 und DIN VDE 0100-510 übernommen.

Der elektrotechnische Fachmann muss bei der Planung über Kenntnisse verfügen der

- Grundlagen der Elektrotechnik
- örtlichen Gegebenheiten
- wirtschaftlichen Gegebenheiten

DIN VDE 0100 kann mit seinen verschiedenen Teilen bei der Planung als guter Leitfaden genutzt werden, da die Gliederung der Teile so aufgebaut ist, wie der Planer bei seiner Arbeit systematisch vorgehen sollte. Zunächst muss selbstverständlich geprüft werden, welche Normen zur Anwendung gelangen, ob z. B. die zu planende Anlage in den Geltungsbereich von DIN VDE 0100 fällt und/oder andere Normen berücksichtigt werden müssen (DIN VDE 0100-100). Zur weiteren Bearbeitung und Verständigung müssen die Begriffe geklärt werden (DIN VDE 0100-200).

Allgemeine Angaben bzw. Randbedingungen (neu in DIN VDE 0100-100 und DIN VDE 0100-510) für die zu projektierende Anlage sind weitere Voraussetzungen für die Planung, wie:

- → *Leistungsbedarf*
- → *Gleichzeitigkeitsfaktor*
- → *Stromversorgung*
- → *Eigenversorgung*
- → *Netzform*
- *Spannung*
- *Frequenz*
- → *Erdung*
- → *äußere Einflüsse*
- → *Verträglichkeit* (Rückwirkungen)
- → *Wartbarkeit*

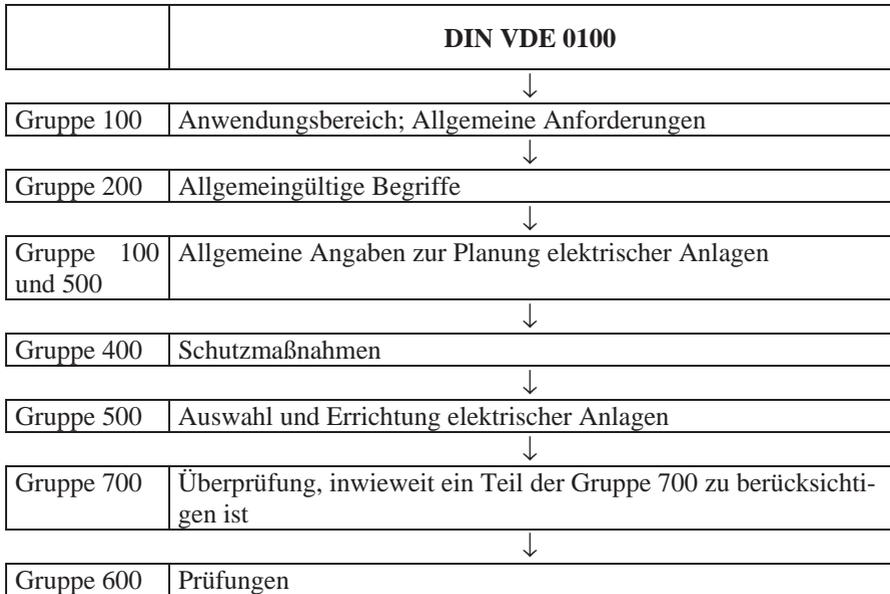
Die Schutzmaßnahmen für den:

- → *Basisschutz*
- → *Fehlerschutz*
- → *zusätzlichen Schutz*

sind nach der Gruppe 400 auszuwählen. Eine weitere wichtige Aufgabe der Projektierung ist dann die Auswahl der Betriebsmittel (Gruppe 500).

Nach der durchgeführten Errichtung muss in Anlehnung an DIN VDE 0100-600 vor der Inbetriebnahme eine Prüfung der Anlage vorgenommen werden.

In **Bild 50** ist zusammenfassend der empfohlene theoretische „Gang“ durch DIN VDE 0100 bei der Planung elektrischer Anlagen dargestellt.



**Bild 50** Planung elektrischer Anlagen in Anlehnung an DIN VDE 0100

## Plattenerder

Plattenerder: Platten von z. B. 1 m<sup>2</sup> Größe aus verzinkten Stahlblech, die als Erder wirken.

Früher wurden Plattenerder im großen Umfang eingesetzt. Diese Erderart findet heute praktisch keine Anwendung mehr, da sowohl die Anschaffung als auch die Verlegung mit einem erheblichen Aufwand verbunden ist und z. B. Fundamenterder, Erdteile, Rohrerder und Staberder einen viel niedrigeren Ausbreitungswiderstand haben als Plattenerder gleicher Oberfläche.

## Potentialausgleich

*DIN VDE 0100-540*  
(VDE 0100-540)

*Errichten von Niederspannungsanlagen*  
*Erdungsanlagen und Schutzleiter*

Der Potentialausgleich ist eine elektrische Verbindung, die die → *Körper* elektrischer Betriebsmittel und → *fremde leitfähige Teile* auf gleiches oder annähernd gleiches Potential bringt.

Die zum Herstellen des Potentialausgleichs notwendige elektrisch leitende Verbindung wird als Potentialausgleichsleiter bezeichnet. Er ist ein Schutzleiter zum Sicherstellen des Potentialausgleichs.

Die Potentialausgleichsschiene ist eine Klemmverbindung oder eine Schiene, die → *Schutzleiter*, → *Potentialausgleichsleiter*, → *Erdungsleiter* und ggf. die Leiter der Funktionserdungen mit Erde verbindet.

Der Potentialausgleich verbindet alle leitfähigen Teile eines Gebäudes oder baulicher Anlagen.

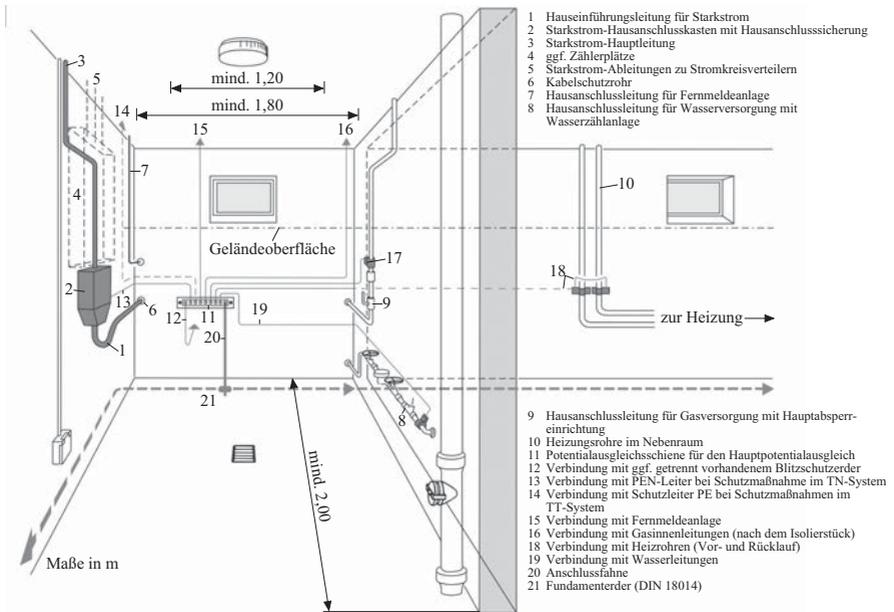
### Dies sind:

- → *Schutzleiter*, → *PEN-Leiter*
- → *Erdungsleiter*
- Wasserverbrauchsleitung (hinter der ersten Absperrarmatur)
- Abwasserleitung
- Rohre für Heizung und Klima (Vor- und Rücklauf)
- Gasinnenleitung (hinter der ersten Absperrarmatur)
- Metallteile der Gebäudekonstruktion (soweit erreichbar)
- Erdungsleiter für Antennen- und Fernmeldeanlage
- Verbindung zum Blitzschutzterder
- die Verbindung zwischen dem ankommenden PEN-Leiter des Netzes und der Potentialausgleichsschiene ist nur beim TN-System erforderlich.

Der Potentialausgleich (**Bild 51**) ist an jedem Hausanschluss oder gleichwertigen Versorgungseinrichtungen herzustellen, um Potentialunterschiede innerhalb des Gebäudes auch im Fehlerfall oder bei Spannungsverschleppung zu vermeiden.

→ *Schutzpotentialausgleich*

→ *Funktionspotentialausgleich*



**Bild 51** Potentialausgleich innerhalb eines Gebäudes

→ Hauptpotentialausgleich

## Potentialausgleichsanlage

Gesamtheit der Verbindungen zwischen leitfähigen Teilen, die den Potentialausgleich zwischen diesen Teilen herstellen.

## Potentialausgleichsleiter

**DIN VDE 0100-540**  
(VDE 0100-540)

**Errichten von Niederspannungsanlagen**  
Erdungsanlagen und Schutzleiter

**DIN EN 50522**  
(VDE 0101-2)

**Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV**