

APPLICATION NOTE

FUNKTIONELLE ERDUNG EINES Q.SMART PHOTOVOLTAIK-SYSTEMS - DURCHFÜHRUNG UND SICHERHEIT

VERSION 1.0, APRIL 2011

- 1 EINLEITUNG SEITE 2
 - 1.1 GRUNDSÄTZLICHER SICHERHEITSHINWEIS SEITE 2
 - 1.2 HINTERGRUND SEITE 2
 - 1.3 SICHERHEITSRELEVANZ SEITE 2
 - 1.4 GELTUNGSBEREICH SEITE 3
- 2 ZUSAMMENFASSUNG SEITE 3
- 3 VORBETRACHTUNGEN: RELEVANTE NETZTOPOLOGIEN SEITE 4
 - 3.1 TN-C NETZ SEITE 4
 - 3.2 TN-S NETZ SEITE 5
 - 3.3 TN-CS NETZ SEITE 5
 - 3.4 TT NETZ SEITE 6
 - 3.5 IT NETZ SEITE 7
- 4 ERDUNGSEMPFEHLUNGEN: WECHSELRICHTER-TOPOLOGIEN UND
MÖGLICHE VERSCHALTUNGEN SEITE 8
 - 4.1 WECHSELRICHTER MIT TRANSFORMATOR SEITE 8
 - 4.2 WECHSELRICHTER MIT TRANSFORMATOR UND
GEERDETEM PV-GENERATOR SEITE 9
 - 4.3 TRAFOLOSE ZENTRALWECHSELRICHTER, DIE ÜBER EINEN MITTELSPANNUNGS-
TRAFU GALVANISCH VOM NETZ GETRENNT SIND SEITE 10
 - 4.4 KLASSISCHER TRAFOLOSER WECHSELRICHTER SEITE 11
 - 4.5 TRAFOLOSE WECHSELRICHTER MIT HOCHSETZSTELLER UND GETEILTEM
SPANNUNGSZWISCHENKREIS (QUIET RAIL TOPOLOGIE) SEITE 12
 - 4.6 TRAFOLOSER WECHSELRICHTER MIT UNSYMMETRISCHEN HOCHSETZSTELLER
UND GETEILTEM SPANNUNGSZWISCHENKREIS SEITE 13
 - 4.7 TRAFOLOSE WECHSELRICHTER MIT EINPOLIG
GEERDETEM PV-GENERATOR SEITE 14
- 5 BEGRIFFSERLÄUTERUNG SEITE 15

1. EINLEITUNG

1.1 GRUNDSÄTZLICHER SICHERHEITSHINWEIS

Aus Gründen des Brandschutzes darf der maximale zulässige Fehlerstrom im Erdschlussfall 50 mA nicht überschreiten. Gültige Regelungen für Personenschutz bleiben davon unberührt.

1.2 HINTERGRUND

Aufgrund einer vermehrten Nachfrage für den Einsatz von Q.SMART Solarmodulen in wärmeren Regionen, haben wir in Zusammenarbeit mit dem VDE unsere Module weitergehenden Tests unterzogen, die über die Anforderungen der IEC-Normen für gemäßigtes Klima gehen. Damit möchten wir den zuverlässigen und sicheren Langzeitbetrieb von Q.SMART Photovoltaik-Systemen (PV-System) sicherstellen.

Unter anderem wurden Langzeittests in sehr heißer Umgebung mit extrem hoher Luftfeuchtigkeit (in der Nähe des Taupunktes) durchgeführt. Hierbei zeigte sich, dass sich die Halbleiterstabilität durch eine negative Erdung (Funktionserdung) der Strings wesentlich verbessert. Um beim Einsatz der Module in warmen Klimaregionen eine lange Lebensdauer auch über unsere Leistungsgarantie hinaus zu gewährleisten, haben wir in Abstimmung mit dem VDE beschlossen, für solche Regionen eine Erdungsempfehlung auszusprechen. Der Einsatz der Q.SMART Module in gemäßigten klimatischen Regionen bleibt davon unberührt. Eine Auflistung der Regionen in denen eine Funktionserdung erforderlich ist, finden Sie in unserer jeweils gültigen Installationsanleitung.

Bei dieser Maßnahme handelt es sich um eine reine Präventivmaßnahme. Bereits bestehende Anlagen können daher in ihrem derzeitigen Zustand belassen werden.

Da unsere Erdungsempfehlung für die Regionen in Abstimmung mit dem VDE erarbeitet wurde, ist sie Teil der Q.SMART Zertifizierung. Sämtliche neue Anlagen, die mit Q.SMART Modulen errichtet werden, unterliegen somit dieser Erdungsvorgabe.

1.3 SICHERHEITSRELEVANZ

Bei einem geerdeten PV-Generator reicht bereits ein einfacher Erdschluss aus, Ableitfehlerströme zu erzeugen. Solch ein Erdschluss kann beispielsweise durch einen Glasbruch in Verbindung mit Feuchtigkeit entstehen.

Ein Glasbruch kann bei Dünnschichtmodulen durch Handhabungsfehler, Fehler bei der Auslegung der Unterkonstruktion oder durch Spannungen im Glas konstruktionsbedingt nie völlig ausgeschlossen werden. Dies zieht für die betroffenen Module stets den Verlust der Schutzklasse 2 (Schutzisolierung nach DIN EN 61140 (VDE 0140-1):2007-03) nach sich und erfordert im Feld einen sofortigen Austausch der betroffenen Module. Um die von den defekten Modulen ausgehende Gefährdung bis zum Zeitpunkt des Austauschs möglichst gering zu halten, sollen hier Maßnahmen erörtert werden, Gefährdungen zu minimieren, die sich aus Fehlerströmen ergeben. Ableitströme oberhalb 30 mA gelten grundsätzlich als lebensgefährlich. Für Ableitströme größer als 100 mA ist bereits von einer erhöhten Brandgefährdung auszugehen.

Diese Gefährdungen sollten generell minimiert werden.

1.4 GELTUNGSBEREICH

Diese Application Note erläutert die Funktionserdung der Q-Cells Q.SMART Solarmodule (Q.SMART, Q.SMART UF, Q.SMART UF L).

Sie gilt als Ergänzung zur Installationsanleitung für Q.SMART Solarmodule und ist ausschließlich für Elektrofachkräfte bestimmt, welche die notwendigen elektrotechnischen Kenntnisse besitzen. Die PV-Erdung darf daher ausschließlich diesen Personen und in Übereinkunft mit den Sicherheitsbestimmungen der Installationsanleitung vorgenommen werden. Mit Verweis auf die Installationsanleitung der Q-Cells SE, übernimmt Q-Cells keine Haftung für etwaige Schäden, die sich aus falscher Handhabung und Durchführung der Empfehlung ergeben.

2. ZUSAMMENFASSUNG

- Der PV-Generator muss in Regionen, die keine Funktionserdung benötigen, auch bei Verwendung von Wechselrichtern mit Transformator nicht geerdet werden. Bei der Verwendung der gerahmten Q.SMART-Module ist eine harte Erdung des Generatorpols gestattet, wenn dies im Einklang mit den örtlichen Vorschriften und den Vorgaben des jeweiligen Wechselrichterherstellers ausgeführt werden kann. Eine harte Erdung ist als die Verbindung des Generatorpols mit Erde ohne die Verwendung eines Widerstandes definiert. Die harte Erdung muss immer mit Bauteilen ausgeführt werden, die vom Wechselrichterhersteller für diesen Einsatz freigegeben sind. Diese Feststellung gilt entgegen der derzeitigen Empfehlung unserer Installationsanleitung. Es bestehen keine sicherheitsrelevanten Bedenken.
- Ist eine Erdung des PV-Generators durch unsere Vorgaben oder durch die örtlichen Vorschriften unumgänglich, so ist die Erdung durch ein zusätzliches Sicherheitskonzept zu überwachen, das Ableitströme größer als 30 mA verhindert oder Ableitströme bis 50 mA länger 0,4 s sicher detektiert und verhindert oder die Isolationsüberwachung in ihrer Funktion ersetzen kann. Eine einfache Erdschlussicherung ist unzureichend.
- Trafolose Wechselrichter der Flying Inductor Topologie, bei denen ein Pol des PV-Generators permanent geerdet ist, dürfen generell und in allen Regionen mit Q.SMART Modulen verwendet werden. Hier ist jedoch aus Gründen der Sicherheit mit dem Wechselrichterhersteller abzuklären, ob im Fehlerfall alle vom Wechselrichter beschalteten Leiter vom Netz getrennt werden.
- Trafolose Wechselrichter nach dem klassischen Prinzip oder der Quiet-Rail Topologie können in allen Regionen eingesetzt werden, die nicht in Tabelle 1 aufgeführt sind, wenn sie eine allstromsensitive Fehlerstromüberwachung (RCMU) besitzen, die bei Fehlerströmen > 50 mA länger als 0,4 s den Wechselrichter vom Netz trennt. Dies ist üblicherweise bei den in Deutschland zugelassenen Geräten der Fall, sollte jedoch bei der Anlagenplanung überprüft werden.
- Bei traflosen Wechselrichtern die unsere Vorgaben für die RCMU nicht erfüllen, ist zusätzlich eine allstromsensitive Fehlerstromüberwachung (RCMU oder RCD Typ B) in der Anlage zu installieren, die bei Fehlergleich-, sowie Fehlerwechselströmen über 50 mA länger 0,4 s die Anlage komplett (alle Außenleiter und Neutraleiter) vom Netz trennt.
- Trafolose Wechselrichter mit Quiet-Rail Topologie, bei denen durch entsprechende Wahl der Stringspannung das Potenzial des negativen Generatorpols zum PE auf positive Werte fixiert werden kann, können überall verwendet werden. In Regionen die eine Funktionserdung voraussetzen, sind die Potenziale bei Inbetriebnahme zu messen. Nur wenn der negative Generatorpol positiv gegenüber dem PE ist, oder eine Spannung von 0 V gemessen wird, darf die Anlage betrieben werden.

3. VORBETRACHTUNGEN: RELEVANTE NETZTOPOLOGIEN

Bei der Erdung eines PV Generators werden unter Umständen zwei völlig unterschiedliche Netztypen (Gleichstromnetz und Wechselstromnetz) über einen beabsichtigten Erdschluss galvanisch miteinander verbunden. Durch die wechselnden Schaltzustände der Brückenschaltung kommt es bei traflosen Wechselrichtern mindestens 25 Mal pro Sekunde zu einem zweiten Erdschluss. Deshalb dürfen traflose Wechselrichter nicht mit geerdeten PV-Generatoren verwendet werden. Andererseits wird das Gleichstromnetz des PV-Generators nicht mehr erdfrei betrieben, so dass es zu Ableitströmen kommen kann. Der folgende Abschnitt gibt eine kurze Übersicht über die für PV-Anlagen relevanten Netztopologien. Sie soll veranschaulichen, welche Leiter in welchen Netztopologien mit dem Erdpotenzial verbunden sind.

Zu Gleichstromnetzen existieren nur wenige Vorgaben.

Gleichstromnetze sind nach EN 50162 7.3:

- allpolig (L(+) und L(-)) abzusichern und mit einer Erdschlussüberwachung zu versehen, wenn sie erdfrei betrieben werden.
- Einpolig am L(+) abzusichern, wenn der L(-) geerdet ist. Die Erdverbindung darf nur an einer Stelle erfolgen. Erdverbindungen (Potenzialausgleich), Kabelwege und Rohrleitungen dürfen nicht als Rückleiter verwendet werden. Ausnahmen siehe EN 50162.

Die örtlichen Vorschriften zur Erdung solcher Netze sind zu beachten.

Für die Niederspannungs- und Mittelspannungs- Wechselstromversorgung sind für Europa die im Folgenden beschriebenen Netzklassen (Kapitel 3.1 bis 3.5) zu beachten.

3.1 TN-C NETZ (FRZ. TERRE NEUTRE COMBINE)

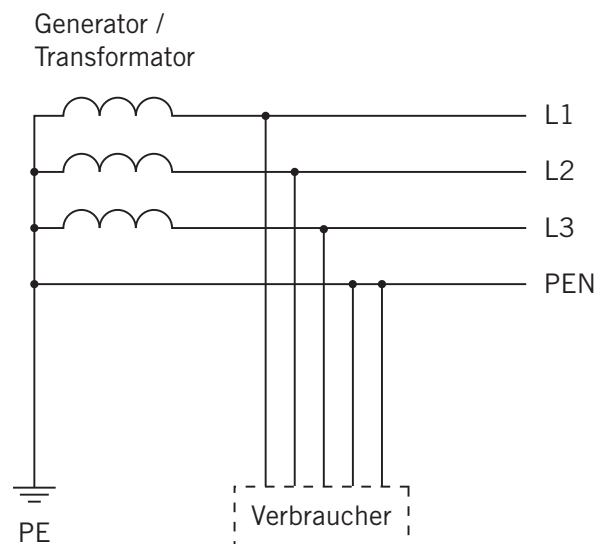


Abbildung 1: Schaltschema für ein TN-C Netz

Im TN-C Netz (Abbildung 1) wird eine als PEN kombinierte Erdung eingesetzt, die sowohl Schutzleiter als auch Neutralleiter ist. Alle leitfähigen Gehäuseteile sind in diesem Netz mit dem Neutralleiter verbunden. Da im Schiefastfall (ungleichmäßige Belastung in Außenleitern L1, L2, L3) über den Neutralleiter ein Ausgleichstrom fließt, besteht zur Erde ein Spannungsfall, der vom Widerstand des PEN-Leiters abhängt. Bei einem Bruch des PEN (Widerstand geht gegen Unendlich) liegt somit die volle Außenleiterspannung gegen Erde an den Gehäusen an. Aus diesem Grund sind TN-C Netze nur noch in Leitungsquerschnitten $> 10 \text{ mm}^2$ zulässig (Verringerung der Bruchgefahr). Ein Bestandschutz für Altanlagen besteht nicht.

3.2 TN-S NETZ (FRZ. TERRE NEUTRE SEPARÉ)

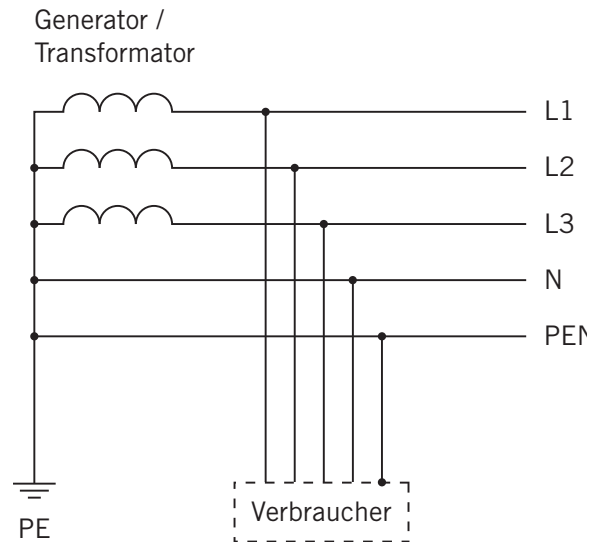


Abbildung 2: Schaltschema für ein TN-S Netz

Im TN-S Netz (Abbildung 2) wird als Schutzmaßnahme ein separater PE Schutzleiter mitgeführt. TN-S Netze sind sicherer als TN-C Netze, da die Schutzmaßnahme auch bei einem Leiterbruch intakt ist. Ein Spannungsfall der leitenden Gehäuse zur Erde besteht in diesem Fall nicht.

3.3 TN-CS NETZ (FRZ. TERRE NEUTRE SEPARÉ COMBINÉ)

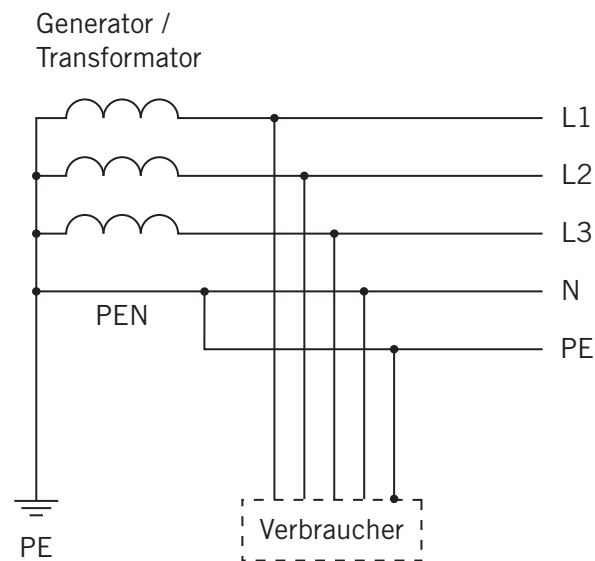


Abbildung 3: Schaltschema für ein TN-CS Netz

Das TN-CS Netz (Abbildung 3) ist eine Mischform aus TN-C und TN-S Netz. Diese Form ist die im deutschen Niederspannungsnetz gebräuchlichste Form. Wichtig für diese Betrachtung ist der Umstand, dass in diesem Netz an einer bestimmten Stelle (meist im Hausanschlusskasten) eine elektrisch leitende Verbindung zwischen der Schutzterde (PE) und der Betriebserde (N) besteht. Der (PEN) des TN-C Netzes wird also an dieser Stelle in PE und N des TN-S Netzes aufgeteilt. In Italien findet dieses Netz hauptsächlich in der Industrie Anwendung.

3.4 TT NETZ (FRZ. TERRE TERRE)

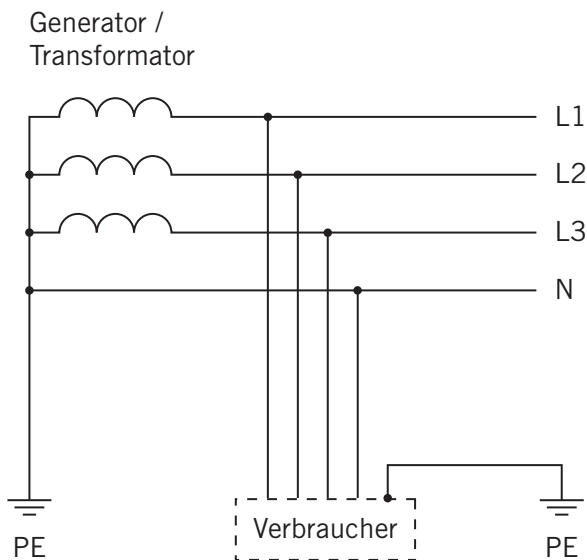


Abbildung 4: Schaltschema für ein TT Netz

Im TT Netz (Abbildung 4) ist der Sternpunkt des Transformators als Betriebs Erde ausgeführt. Eine leitende Verbindung der Betriebs Erde zu den Schutz erden des Systems besteht nur über die Erde, jedoch nicht über einen durchgezogenen Leiter. Die Schutz erdung in diesen Systemen ist nicht unproblematisch, da die Wirksamkeit der Schutzmaßnahme hier vom Erdungswiderstand abhängt. Bei stärkeren Stromkreisen muss auf eine Fehlerstromdetektion zurückgegriffen werden.

Typische Verwendung des TT Netzes:

- Deutschland in ländlichen Gebieten
- Italien in Haushalten
- Spanien in Installationen, die aus dem öffentlichen Niederspannungsnetz versorgt werden.

Erdung in TN und TT Systemen

Da in allen TN Systemen sowie im TT System beim Erdschluss eines Außenleiters andere Leiter (PE, PEN) eine Spannung gegenüber dem Erdpotential annehmen können, die oberhalb der zulässigen Berührungsspannung liegt, wird diese Spannungsüberhöhung durch den Einsatz mehrerer Betriebs- und Anlagen-Erder verhindert. Dadurch wird der Gesamtwiderstand zur Erde verringert. Alle Erder im System bilden eine Parallelschaltung.

Entscheidend für den Betrieb von PV-Anlagen ist, dass alle in Europa in der öffentlichen Wechselstromversorgung verwendeten Netze mit Betriebs-, sowie Schutz erden versehen sind und somit Ableitströme zur Erde im Fehlerfall möglich sind.

3.5 IT NETZ (FRZ. ISOLÉ TERRE)

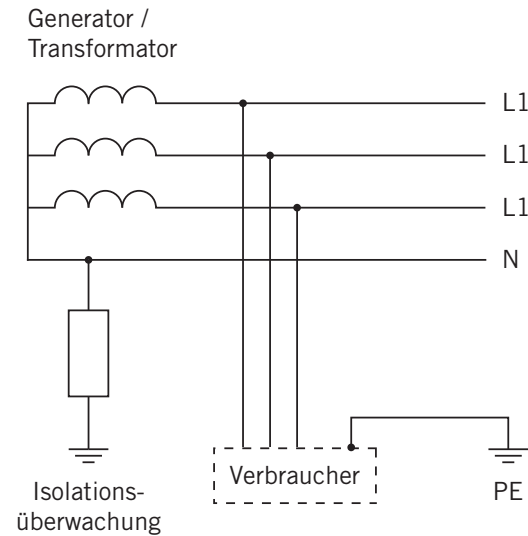


Abbildung 5: Schaltschema für ein IT Netz

Im IT Netz (Abbildung 5) existiert keine Betriebs Erde. Das Netz ist komplett gegen Erde isoliert, der Isolationswert gegen Erde wird überwacht. Es existiert also keine Verbindung des Netzes zu den Schutz erden. Dieses Netz existiert als 3-, oder 4-Leitersystem in dem zusätzlich der Sternpunkt des Trafos als ungeerdeter Leiter mitgeführt wird. Dieses Netz ist sehr ausfallsicher, da erst ein doppelter Erdschluss zum Fehlerstrom führen kann. Die einzige Schutzmaßnahme gegen Erdschluss besteht hier in einer Isolation aller Leiter gegen Erde. Da die einzelnen Leiter jedoch gegenüber der Erde einen Kondensator bilden, können bei entsprechend großer Kapazität (Leiterlänge) Ableitwechselströme zur Erde fließen. Daher ist die mögliche Länge der Leiter in der Praxis begrenzt.

Diese Netze kommen in besonderen Fällen in der Industrie oder im Bergbau zum Einsatz.

Für diese Betrachtung ist diese Netztopologie vornehmlich bei Anlagen relevant, in denen ein Zentralwechselrichter an einem Mittelspannungstrafo betrieben wird.

Wird in einem solchen Fall die Verbindung zwischen Wechselrichter und Niederspannungsseite des Trafos als IT Netz ausgeführt, so ist ebenfalls eine galvanische Trennung zwischen Wechselrichter und Mittelspannungsnetz gewährleistet. Der so betriebene Wechselrichter kann bezüglich Erdung, unabhängig von seiner Topologie, als Trafo-Wechselrichter behandelt werden.

4. ERDUNGSEMPFEHLUNGEN: WECHSELRICHTER-TOPOLOGIEN UND MÖGLICHE VERSCHALTUNGEN

Infolge der fortschreitenden Entwicklung der Wechselrichtertechnologie sind mittlerweile verschiedene Wechselrichtertopologien auf dem Markt, die die Potenzialdifferenz zwischen dem Schutzleiter (Gestell) und dem negativen Pol des PV-Generators auf bestimmte Werte begrenzen können. Im Allgemeinen kommen hier Quiet Rail –Topologien mit verschiedenen Neuentwicklungen in der Schaltungstechnik zum Einsatz. Wechselrichter mit Quiet-Rail-Topologie dürfen grundsätzlich in jeder Region mit Q.SMART Modulen eingesetzt werden, wenn sichergestellt ist, dass der Potenzialunterschied zwischen dem Schutzleiter und dem negativen Pol des PV-Generators nicht kleiner als 0 V ist. Der negative Generatorpol darf also gegenüber dem Gestell nicht negativ sein. Dies ist zwingend bei Betrieb der Anlage nachzumessen. In diesem Kapitel werden sieben verschiedene Wechselrichtertopologien inklusive spezieller Sicherheitsvorkehrungen vorgestellt, welche zur Anwendung kommen können.

4.1 WECHSELRICHTER MIT TRANSFORMATOR

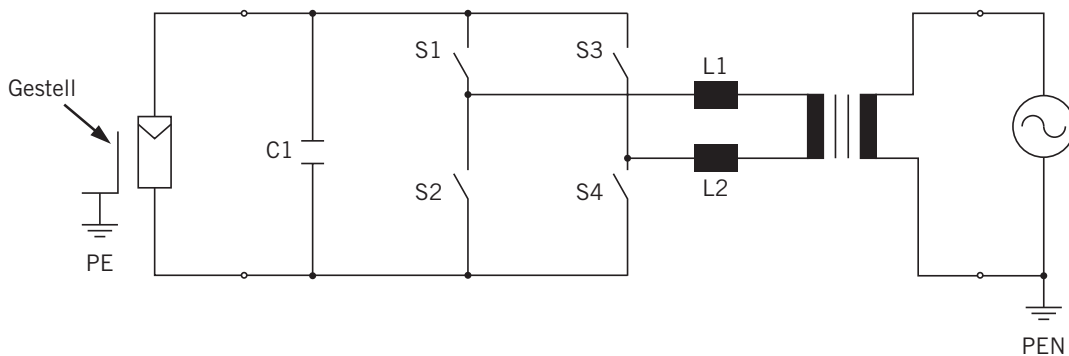


Abbildung 6: Schaltschema eines Wechselrichters mit Transformator

Ob der Wechselrichter mit einem 50 Hz oder einem Hochfrequenztransformator ausgerüstet ist, spielt für diese Betrachtungen keine Rolle. Entscheidend ist, dass die DC-Anschlüsse des PV-Generators aufgrund der galvanischen Trennung vom Netz gegenüber dem Erdpotential jeden beliebigen Wert annehmen können. Die Gleichspannung ist lediglich mit einem geringen Spannungsrippel überlagert. Diese Restwelligkeit der Gleichspannung resultiert aus den wechselnden Schaltzuständen der Brückenschaltung des Wechselrichters.

Maßnahmen für den sicheren Betrieb

Bei dieser Topologie (Abbildung 6) sind keine zusätzlichen Sicherheitskonzepte notwendig, da hier der PV-Generator durch den Transformator galvanisch vom Netz und somit auch von allen vorhandenen Betriebs- und Schutzerdern des Netzes getrennt ist. Erst ein doppelter Erdschluss kann hier zu einem Fehlerstrom führen. Die Überprüfung der Erdschlussfreiheit beider PV-Generatorpole oder der Funktionstüchtigkeit der Isolationsüberwachung ist bei Inbetriebnahme der Anlage zwingend erforderlich!

4.2 WECHSELRICHTER MIT TRANSFORMATOR UND GEERDETEM PV-GENERATOR

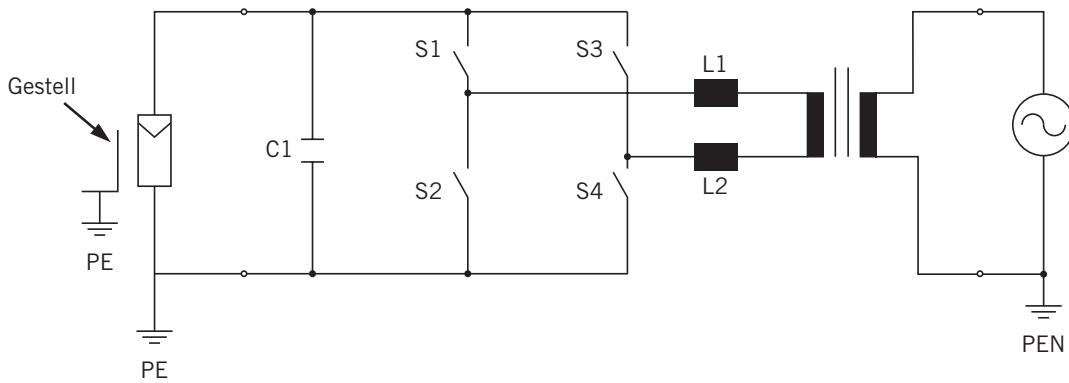


Abbildung 7: Schaltschema eines Wechselrichters mit Transformator und geerdetem PV-Generator

Dieses Konzept (Abbildung 7) findet vorrangig bei kleineren Anlagen in den Regionen Anwendung, in denen eine Erdung nach Tabelle 1 vorschrieben ist. Die Verwendung eines Trafo-Wechselrichters ist für dieses Erdungskonzept zwingend. Das Potenzial des PV-Generators wird durch diese Schaltung auf feste Werte fixiert. Der Nachteil ist, dass an einer solchen Anlage eine Messung des Isolationswiderstandes im Wechselrichter nicht ohne weiteres möglich ist. Da durch die Funktionserdung bereits ein Erdschluss³ besteht, muss die integrierte Isolationsüberwachung des Wechselrichters außer Betrieb genommen werden, um einen problemlosen Betrieb zu gewährleisten.

Maßnahmen für den sicheren Betrieb

Bei dieser Topologie kann es als Folge von Glasbruch und Wassereinwirkung zu hohen Ableitströmen kommen. Selbst nach Netztrennung des Wechselrichters wird dieser Ableitstrom weiter fließen, da der Erdschluss durch die Netztrennung nicht beseitigt wird. Erst nach Auslösen der Erdschlusssicherung (meist 1-6 A) wäre der Fehlerstromkreis zuverlässig getrennt. Ableitströme stellen jedoch bereits in kleinerer Größenordnung (100 mA Brandgefährdung, 30 mA Personenschutz) eine Gefährdung dar.

Wir empfehlen:

- Führen Sie die Erdung über einen Widerstand aus, der den maximalen Stromfluss bei der vorhandenen Systemspannung (Leerlaufspannung) auf 30 mA begrenzt. Diverse Wechselrichterhersteller bieten entsprechende Erdungskits an. Die Erdung über einen Widerstand bedingt jedoch, dass der Effektivwert der Restwelligkeit (Spannungsrippel) über den Widerstand als Gleichspannungsoffset abfällt. Somit ist zwischen Gestell und geerdetem Generatorpol immer noch ein Potentialunterschied von wenigen Volt messbar, dessen Größe vom Wechselrichter und vom verwendeten Widerstand abhängig ist. Aus diesem Grund bieten wir an, die Kombination bestimmter Trafo-Wechselrichter in Verbindung mit Widerstandserdungskits auf Nachfrage zu testen und im Erfolgsfall freizugeben.

Freigegebene Wechselrichter für diese Anwendung sind:

- Fronius Wechselrichter der IG Plus Serie mit Widerstandskit
- Danfoss Unilynx mit Erdung über mindestens 20 k Ω Widerstand

Weitere Möglichkeiten:

- Weiterhin kann vor dem DC-Anschluss des Wechselrichters ein allstromsensitiver Differenzstromwächter (RCMU) installiert werden, um Fehlerströme in Höhe von 50 mA zu detektieren und innerhalb von 0,4 s die Erdung zu unterbrechen. In einem solchen Fall sollte ein optisches oder akustisches Signal ausgegeben werden, um den Betrieb der Module, konform zu den Erdungsvorschriften sicher zu stellen..
- Erdungskits mit einer Erdschluss-Sicherung können verwendet werden, wenn Brand-, sowie Personengefährdung durch weiterführende Sicherungsmaßnahmen ausgeschlossen werden kann (z. B. Einzäunung, schwer entflammbare Umgebung).

Hinweis für zukünftige Entwicklung:

- Aktuell gibt es technische Entwicklungen, einen zuverlässigen Schutz durch Verkleinerung der Erdschlusssicherung zu erreichen. Jedoch besteht in diesem Fall die Gefahr, dass die Sicherung bereits durch die Leckströme ausgelöst wird und dadurch die Erdung ausfällt. Aus diesem Grund können PV-Anlagen mit geerdetem Generatorpol nur durch automatisierte Überwachungskonzepte oder eine Begrenzung von Erdschluss-Strömen sicher betrieben werden.

4.3 TRAFOLOSE ZENTRALWECHSELRICHTER, DIE ÜBER EINEN MITTELSPANNUNGSTRAFO GALVANISCH VOM NETZ GETRENNT SIND

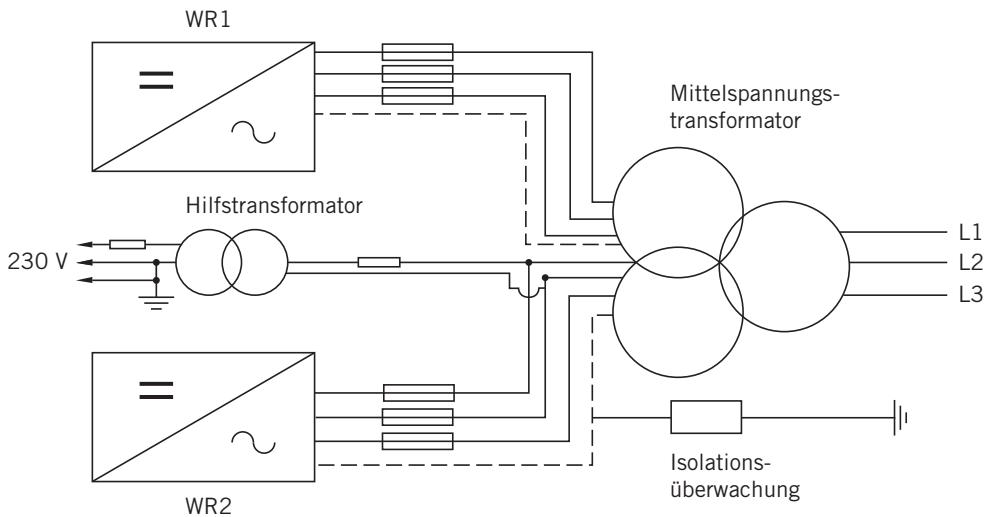


Abbildung 8: Schaltschema eines traflosen Zentralwechselrichters mit galvanischer Netztrennung über einen Mittelspannungstrafo

Da in dieser Wechselrichtertopologie (Abbildung 8) die Anlage durch den Mittelspannungstrafo vom Netz entkoppelt ist, kann diese Schaltung unabhängig vom Typ des verwendeten Wechselrichters immer als Trafo-Wechselrichter betrachtet werden. Entscheidend ist dabei, dass der Sternpunkt des Mittelspannungstrafos auf der Niederspannungsseite nicht geerdet ist. Somit wird das relativ kurze Stück Niederspannungsnetz zwischen Wechselrichter(n) und Mittelspannungstrafo als IT-Netz ausgeführt.

Maßnahmen für den sicheren Betrieb

Auch in solchen Systemen ist die direkte Erdung eines PV-Generatorpols möglich. Dieses Konzept empfehlen wir insbesondere für umzäunte Anlagen (Personenschutz) auf Freiflächen mit minderer Brandgefährdung, die nach Tabelle 1 mit einer Erdung ausgestattet werden müssen und bei denen ein Zentralwechselrichter zum Einsatz kommt.

Bei der Verwendung dieser Wechselrichter ist zu beachten:

- Es gelten alle unter Kapitel 4.2 genannten Fakten und Maßnahmen.
- Bei Verwendung eines 230 V Hilfsspannungsnetzes (Steuerspannungen) ist zusätzlich sicherzustellen, dass dieses entweder über einen Hilfstransformator entkoppelt, oder erdfrei betrieben wird. Die Leiterlängen des erdfreien Netzes müssen so begrenzt werden, dass durch kapazitive Rückwirkungen Spannungsfälle gegen Erde größer als 50 V vermieden werden (Anforderungen IT Netze).
- Bei Erdung über einen Widerstand und Anschluss von mehr als 50 parallelen Strings ist der Spannungsfall über dem Widerstand zu messen. Dieser darf 20 V nicht überschreiten.

Alternativen:

- **Trennung der Erdverbindung ohne Widerstand** (Abbildung 9): Alternativ kann eine Erdung ohne Widerstand verwendet werden, die jedoch DC-seitig über einen Differenzstromwächter (RCMU Typ B) überwacht wird. Diese Geräte lassen üblicherweise Ströme bis 50 mA über einen Zeitraum von 0,4 s zu, oder sind frei programmierbar. So können Ausgleichsströme zuverlässig überbrückt werden. Bei höheren Strömen, die über einen längeren Zeitraum fließen, muss die Erdung getrennt werden und ein Alarm sollte ausgegeben werden.

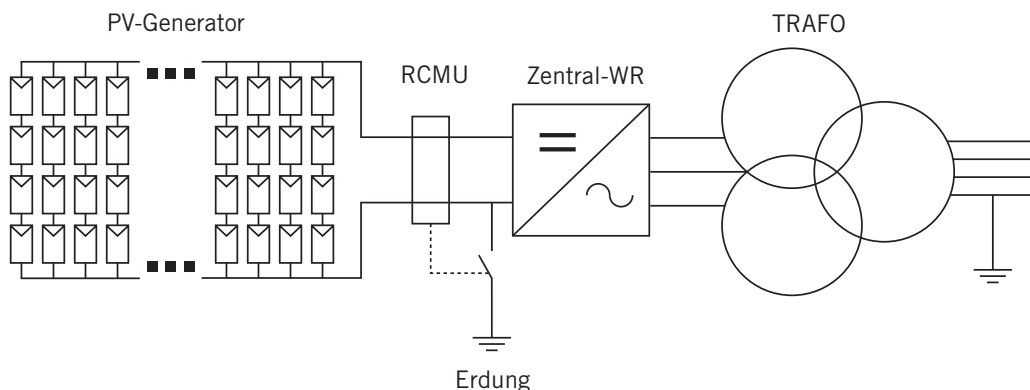


Abb. 9: Trennung der Erdverbindung ohne Widerstand

- **Trennung der Generatorpole (Abbildung 10):** Ist die Erdverbindung innerhalb des Wechselrichters ausgeführt (Erdungskit), müssen im Fehlerfall mithilfe von DC-Schützen die Generatoranschlüsse getrennt werden. Diese Form der Erdschlussüberwachung ist generell bei allen galvanisch getrennten Systemen einsetzbar, wird jedoch aus Kostengründen erst beim Einsatz von Zentralwechselrichtern praktikabel sein. Ebenso ist hier eine direkte Erdung möglich, wenn durch eine geeignete Schaltung die Ausgleichsströme zur Erde überwacht und auf ungefährliche Werte (unter 30 mA) begrenzt werden können bzw. sichergestellt sind. In verschiedenen Ländern ist es notwendig im Erdschlussfall den Wechselrichter auch AC-seitig vom Netz zu trennen. Auch dies kann durch die RCMU leicht realisiert werden.

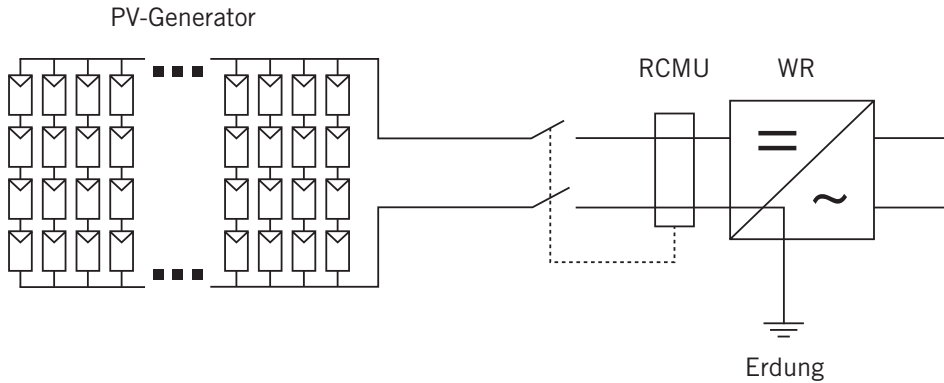


Abbildung 10: Trennung der Generatorpole

Empfohlene Differenzstromüberwachungen:

- Differenzstromüberwachung durch RCMU: DOLD IP 5883
- Differenzstromüberwachung durch Bender RCMA420

Die örtlichen Vorschriften müssen stets beachtet werden.

4.4 KLASSISCHER TRAFOLOSER WECHSELRICHTER

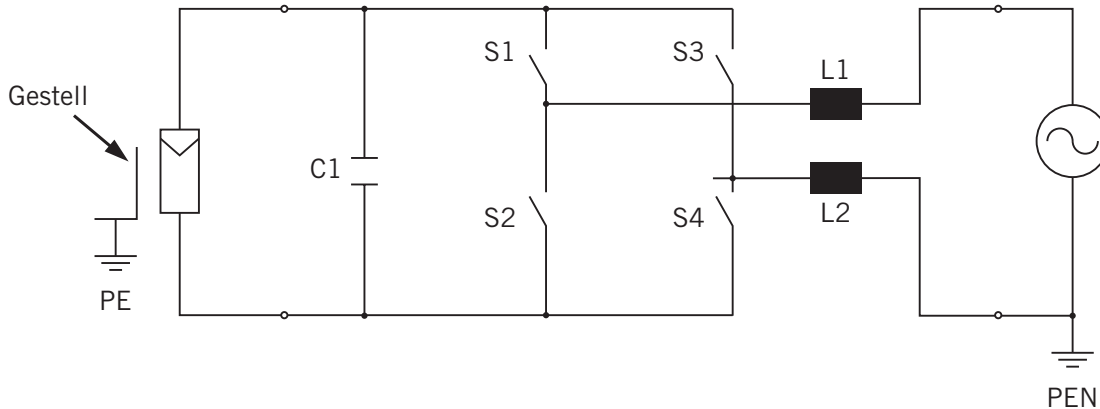


Abbildung 11: Schaltschema mit klassischem trafolosen Wechselrichter

Bei den klassischen trafolosen Wechselrichtern besteht keine galvanische Trennung zum Netz (Abbildung 11). Eine Erdung des PV-Generators ist somit nicht möglich, da sonst im entsprechenden Schaltzustand (S2, S3 geschlossen) ein Kurzschluss des PV-Generators über den Wechselrichter bestehen würde. Ebenfalls durch die fehlende galvanische Trennung ist die Messung des Isolationswiderstandes während des Betriebes nicht möglich. Aus diesem Grund wird bei solchen Geräten vor Beginn der Netzaufschaltung eine Isolationswiderstandsmessung (Riso-Prüfung) durchgeführt. Der Isolationswiderstand darf nach geltenden Vorschriften $1 \text{ k}\Omega/\text{V}$ mindestens jedoch $500 \text{ k}\Omega$ nicht unterschreiten. Während des Betriebes werden durch einen allstromsensitiven Fehlerstromschutz (RCMU) sowohl netzseitige Fehlerwechselströme sowie generatorseitige Fehlergleichströme detektiert und bei einem Fehlerstromstoß $\geq 30 \text{ mA}$ der Wechselrichter vom Netz getrennt. Nur durch die Kombination beider Überwachungsmechanismen ist ein sicherer Betrieb am Netz möglich. Aufgrund der zu erwartenden kapazitiven Ableitströme muss eine leitende Unterkonstruktion komplett in den Potenzialausgleich mit einbezogen werden (Schutzerde).

4.6 TRAFLOSE WECHSELRICHTER MIT UNSYMMETRISCHEN HOCHSETZSTELLER UND GETEILTEM SPANNUNGSZWISCHENKREIS

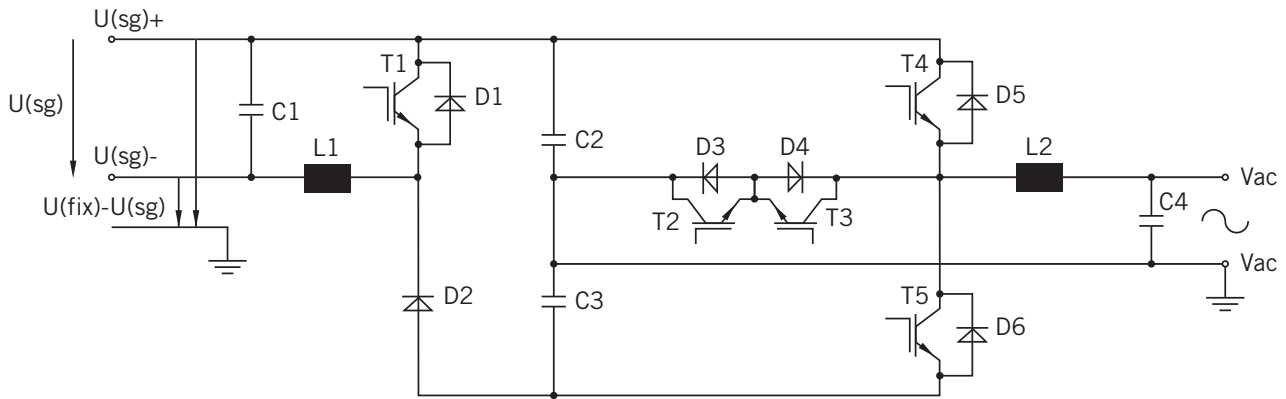


Abbildung 13: Schaltschema eines traflosen Wechselrichters mit unsymmetrischem Hochsetzsteller und geteiltem Spannungszwischenkreis

Diese Topologie (Abbildung 13) stellt eine spezielle Form der Quiet Rail Topologie dar. Durch die Verlagerung der Diode D2 in den unteren Strompfad, arbeitet der Hochsetzsteller (C1, L1, T1) unsymmetrisch gegenüber dem Zwischenkreis. Durch diese Schaltung wird, innerhalb der Arbeitsgrenzen des Hochsetzstellers, das positive Potential des Solargenerators $U(\text{fix})$ auf einen festen Wert gegenüber dem Gestell (PE) gelegt. Das Potential beträgt üblicherweise die Hälfte der Arbeitsspannung des Hochsetzstellers (ca. 350 V-400 V). Erst wenn der Arbeitsbereich des Hochsetzstellers durch die Stringspannung überschritten wird, teilen sich die Potentiale symmetrisch zum Massepotential auf. Das Potential des negativen Generatorpols gegenüber der Erde kann nun durch die Stringspannung direkt beeinflusst werden. Der Spannungsfall zwischen negativem Generatorpol und Gestell ergibt sich aus der Differenz des Festwertes und der Stringspannung $U(\text{fix})-U(\text{sg})$. Wird die Anzahl der Module im String so gewählt, dass die Mpp-Spannung kleiner ist als der Wert $U(\text{fix})$, kann man während der Einspeisung sicherstellen, dass der Potentialunterschied zwischen Gestell und negativem Generatorpol nicht negativ wird. Hierbei muss gewährleistet sein, dass der Wechselrichter bei der gewählten Stringspannung noch im Mpp Bereich arbeitet.

Maßnahmen für den sicheren Betrieb

Bei der Verwendung dieser Wechselrichter ist zu beachten:

- Solche Wechselrichter können bei korrekter Wahl der Stringspannung in allen Ländern mit Q.SMART Modulen verwendet werden.
- Für die integrierten Sicherheitsschaltungen (RCMU, ENS) gelten die Anforderungen gemäß Kapitel 4.4).
- Zu beachten ist zusätzlich, dass die MPP-Stringspannung den Festwert $U(\text{fix})$ nicht übersteigt.
- Das Potenzial des negativen Generatorpols gegenüber dem Gestell (PE) muss bei der Inbetriebnahme gemessen werden und darf nicht negativ sein. Positive Werte sind dagegen zulässig.

Mögliche Wechselrichter:

- Voltwerk VS Serie mit 6 Modulen pro String

4.7 TRAFOLOSE WECHSELRICHTER MIT EINPOLIG GEERDETEM PV-GENERATOR

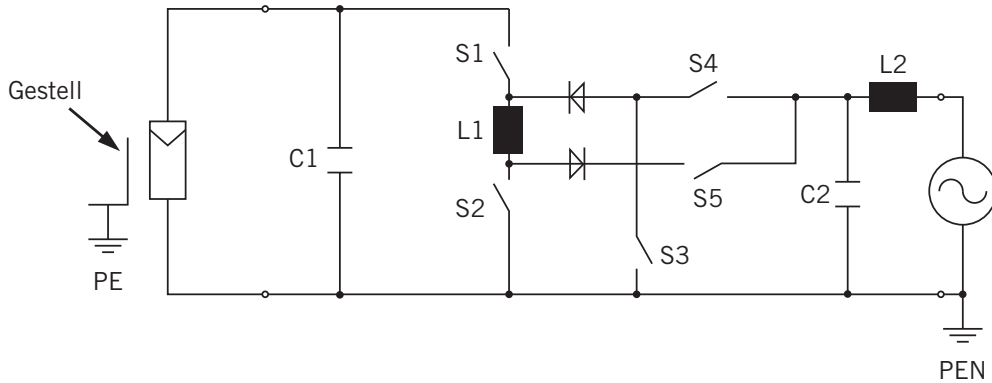


Abbildung 14: Schaltschema mit Flying Inductor Technology

Bei diesen Geräten (Flying Inductor Technology) ist ein Pol des PV-Generators permanent mit dem Neutralleiter des Wechselstromnetzes verbunden (Abbildung 14). Dadurch ist das Potential des PV-Generators gegenüber Erde während des Wechselrichterbetriebes konstant. Im Betriebszustand besteht hier eine leitende Verbindung des geerdeten Generatorpols zu allen Schutz- und Betriebserden des Netzes.

Maßnahmen für den sicheren Betrieb

Trafolose Wechselrichter mit einpolig geerdetem Minuspol können mit Q.SMART Modulen überall verwendet werden.

Aus Sicherheitsgründen sind folgende Punkte sicherzustellen:

- Die RCMU muss bei einem Ableitstrom von 50 mA über 0,4 s den Wechselrichter vom Netz trennen.
- Die Netztrennung des Wechselrichters muss alle vom Wechselrichter beschalteten Außenleiter sowie den Neutralleiter (L1, L2, L3, N) umfassen.

Sollte die elektrische Verbindung über die Betriebs- / Schutzerden des Netzes zum Gestell über einen durchgeschalteten Neutralleiter bestehen bleiben, wird der Ableitstrom auch nach Außerbetriebsetzung des Wechselrichters weiter fließen.

Freigegebene Wechselrichter:

- Sunways AT Serie

5. BEGRIFFSERKLÄRUNG

BEGRIFF	ERLÄUTERUNG
Außenleiter	Leiter, der im Betriebsfall unter Spannung steht und kein Neutralleiter ist
Betriebserde	Elektrische Verbindung eines im Betriebsfall stromführenden Leiters mit dem Erdpotential (i.d.R. Neutralleiter)
ENS	Einrichtung zur Netzüberwachung mit zugeordneten Schaltorganen (ENS); eine automatische Freischnittstelle für kleine Stromerzeugungsanlagen (bis 30 kW Spitzenleistung).
Erdschluss	Leitende Verbindung eines stromführenden Leiters zum Erdpotential(meist als Isolationsfehler)
Funktionserdung	Verbindung eines elektrischen Leiters mit dem Erdpotential, die zur korrekten Funktion der Anlage nötig ist. Sie entspricht im Fall der PV-Erdung einer Betriebserdung
Galvanische Trennung	Stromkreise die elektrisch getrennt sind, es wird zwar Leistung übertragen, aber es werden keine Ladungsträger ausgetauscht
GFDI	Ground Fault Detection Interupter; überwacht den Erdschlussstrom und trennt im Bedarfsfall die Erdung
Mittelspannung	Stromversorgung mit Wechselspannungen zwischen 1000 V und 30 kV
N	Siehe Neutralleiter
Neutralleiter	Sternpunkt eines Dreiphasen Wechselstromsystems
Niederspannungsnetz	Stromversorgung mit Wechselspannung unter 1000 V
PE	Siehe Schutzerde
PEN	Kombinierter Schutz-und Neutralleiter
RCMU	Residual Current Monitoring Unit (siehe Abbildung 15); überwacht die Differenzströme in den Strings und trennt im Fehlerfall die Komponente, an die das RCMU angeschlossen ist.
Schutzerde	Elektrisch leitende Verbindung aller leicht zu berührenden Teile einer Anlage mit dem Erdpotential, dient ausschließlich der Sicherheit
Schutzleiter	Elektrischer Leiter, der ausschließlich der Sicherheit dient, führt im Normalfall keinen Strom
Taupunkt	Temperatur, bei der die relative Luftfeuchtigkeit 100% beträgt

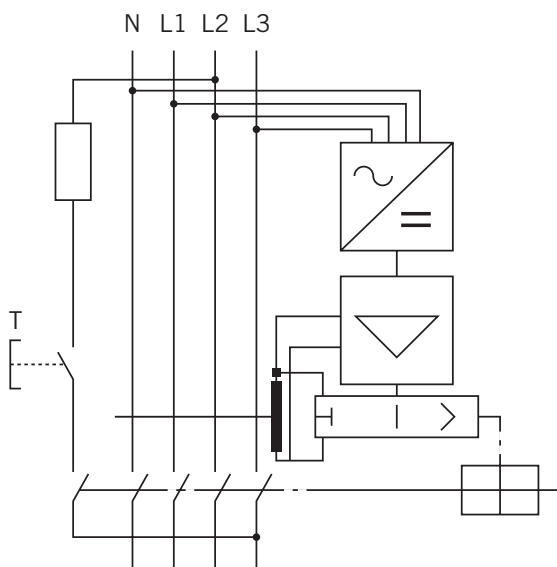


Abbildung 15: Schaltschema einer RCMU