

REFUsol-MiniManual 12

## **Strom-Netze**

### **+ geklemmter Neutralleiter**

#### **Wichtige Hinweise:**

Dieses MiniManual ist nur für REFUsol-Mitarbeiter und für REFUsol-Servicepartner.

Es darf nicht an andere Personen weiter gegeben werden.

Gewährleistungs- und Haftungsansprüche bei Schäden jeglicher Art sind ausgeschlossen.

## Netzformen



Welche Netzformen sind für REFUsol-String-Wechselrichter möglich ?  
Delta-Netze <-> Stern-Netze

# Energieerzeugung und Verteilung





## Elektrische Netze in Europa

Hochspannung  
110 kV ... 220 kV ... 380 kV  
immer Delta



erkenntlich an 3 Adern per System

Mittelspannung  
1 kV ... **20 kV** ... 35 kV  
immer Delta



erkenntlich an 3 Adern

Niederspannung  
0,4 kV (bis 1 kV)  
immer Stern



erkenntlich an 4 Adern

## Stromnetze in Europa

**Mittelspannungsnetzanschluss  
mit eigenem Transformator**

**Deutschland und Rest-Europa**

**freie Wahl der Trafo-Schaltgruppe**

**in Delta- und SternSchaltung möglich,  
aber nur Stern für REFUsol-String !**

**Niederspannungsnetzanschluss  
ohne eigenen Transformator**

**Deutschland**

**Rest-Europa**

**seit 1974**

**seit 1985 ?**

**nur 5-adrig in Sternschaltung  
Stern für REFUsol-String !**

Klassische PEN-Systeme findet man in Kundeninstallationen in Deutschland, die vor dem 31. März 1974 fertiggestellt wurden, sowie nach aktueller Norm nur im Verteilernetz der Netzbetreiber und für besondere Anwendungen. Die Aufteilung von PEN in den PE- und N-Leiter erfolgt heute unmittelbar an der Übergabe vom Netzbetreiber in die Kundenanlage im [Hausanschlusskasten](#). Der Begriff „Neutralleiter“ wurde erstmals 1983 in der VDE genannt.<sup>[10]</sup>

Wikipedia

## Öffentliches Niederspannungs-Netz in Europa von Mittelspannung über Transformator zur Niederspannung



**Extern auf Freileitungen und Erdkabeln immer 3AC 400 V + PEN**  
(erkenntlich an 4 Adern)

# Öffentliches Niederspannungs-Netz in Griechenland von Mittelspannung über Transformator zur Niederspannung



**Mittelspannung in Delta 3AC 10 000 V**



**Extern auf Freileitungen  
und Erdkabeln immer  
3AC 400 V + PEN**

**Intern  
3AC 400 V + N + PE  
oder (alte Nullung)  
3AC 400V + PEN**





## Öffentliches Niederspannungs-Netz in Indien von Mittelspannung über Transformator zur Niederspannung



**Mittelspannung in Delta 3AC 10 000 V**



**Extern auf Freileitungen  
und Erdkabeln immer  
3AC 400 V + PEN**

**Intern  
3AC 400 V + N  
ohne Erde  
3AC 400V + N**





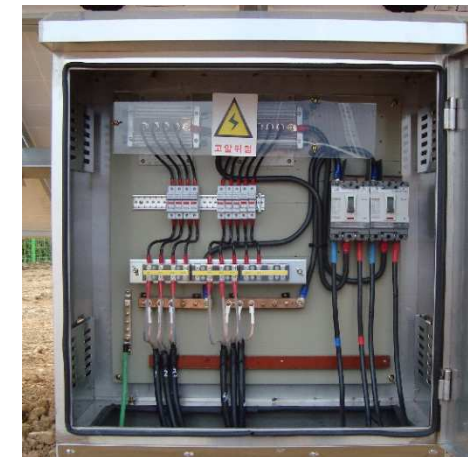
# Öffentliches Niederspannungs-Netz in Korea von Mittelspannung über Transformator zur Niederspannung

**Mittelspannung in Delta 3AC 22 900 V**



**Extern auf Freileitungen  
und Erdkabeln immer  
3AC 380 V + PEN**

**Intern  
3AC 380V + PEN**



## Öffentliches Niederspannungs-Netz in Japan von Mittelspannung über Transformator zur Niederspannung

**Mittelspannung in Delta 3AC 22 000 V**



# Öffentliches Niederspannungs-Netz in USA von Mittelspannung über Transformator zur Niederspannung

## Mittelspannung in Delta



**Extern auf Freileitungen  
und Erdkabeln immer  
3AC 480 V + PEN**

**Intern  
3AC 277 V + PE  
ohne N  
oder  
1AC 110V + N +PE**



# Transformatoren Schaltgruppen für REFUsol-String

Schaltgruppe	Zeigerbild	Schaltbild	Sek. Sternpunkt	Schaltgruppe	Zeigerbild	Schaltbild	Sek. Sternpunkt
D d 0			Nicht vorhanden	D d 0			Nicht vorhanden
Y v 0			Ca. 10% belastbar	Y v 6			Ca. 10% belastbar
D z 0			Voll belastbar	D z 6			Voll belastbar
D y 5			Voll belastbar	D y 11			Voll belastbar
Y d 5			Nicht vorhanden	Y d 11			Nicht vorhanden
Y z 5			Voll belastbar	Y z 11			Voll belastbar

**Geeignete Schaltgruppe für REFUsol-String Umrichter**

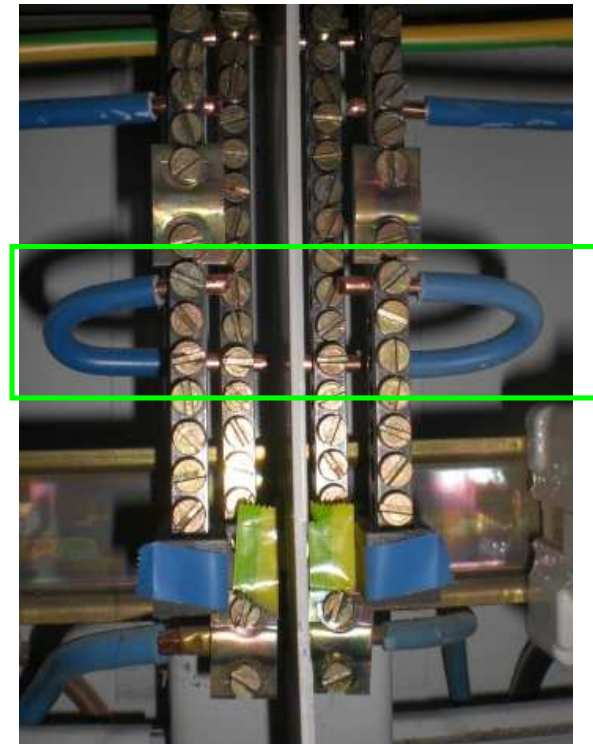


# Niederspannungs-Stern-Netzform – Europa

Neuanlagen in Deutschland seit 1974 immer in TN-C-S-Topologie



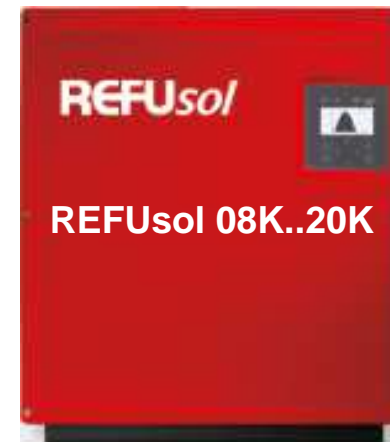
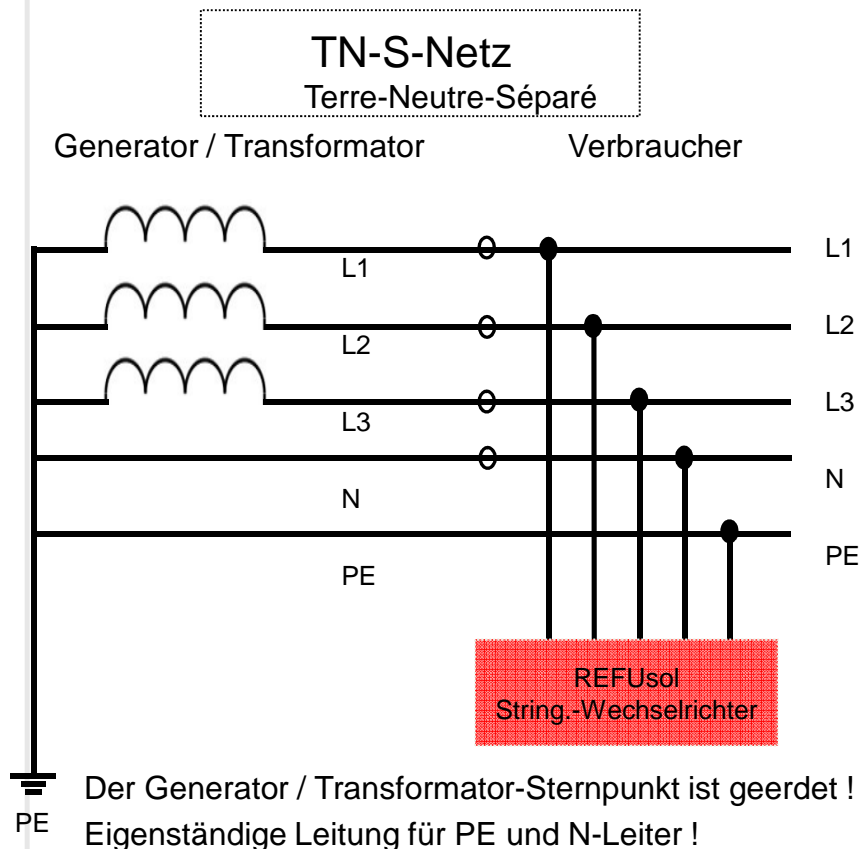
Vom Zähler zu Sicherungen / Automaten  
Farben für Außenleiter: schwarz + grau + braun  
nicht: hell-blau, dunkel-blau, grün-gelb, rot



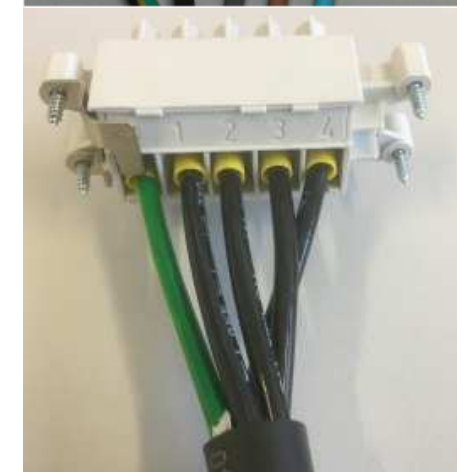
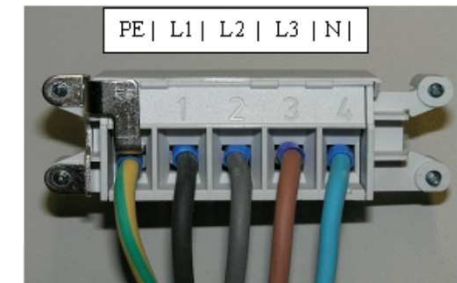
PE ist immer grün-gelb (grün auch möglich)  
Neutral ist immer hell-blau  
Es gibt genau eine Stelle für eine Verbindung von PE  
nach N im Zählerschrank und sonst nirgends!

# Öffentliches Niederspannung-Stern-Netz – Europa

immer in TN-S-Topologie



Farbige Mantelleitung

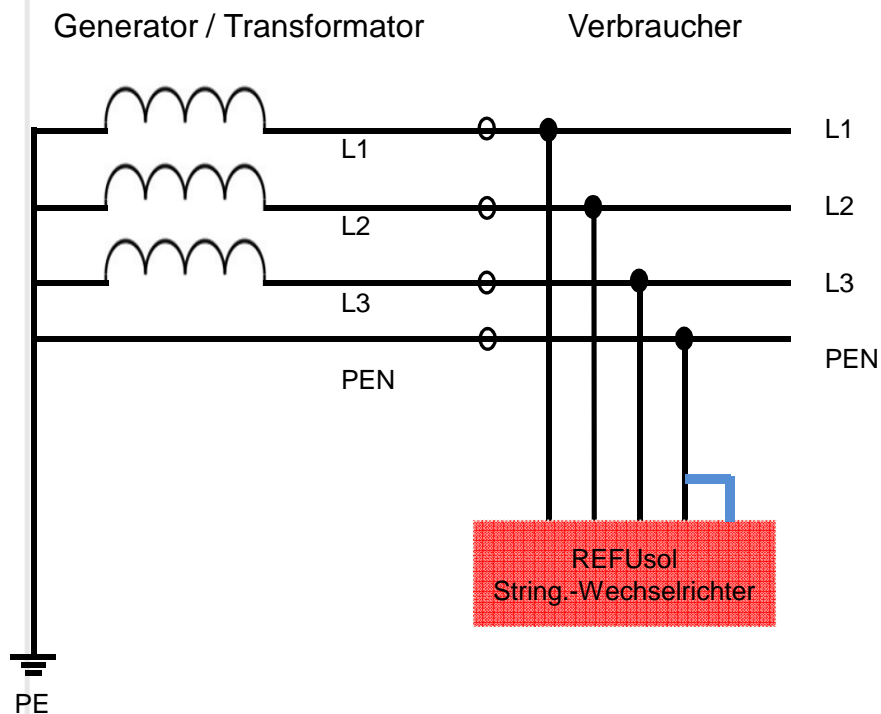


Nummerische Mantelleitung

**➔ Es muss jeder ans öffentliche Niederspannungsnetz angeschlossene PV-Wechselrichter in Stern-TN-S mit 5 Adern inklusive Neutral ausgeführt sein.**

# Niederspannungs-Stern-Netz außerhalb Europa in TN-C-Topologie

**TN-C-Netz**  
Terre-Neutre-Combiné



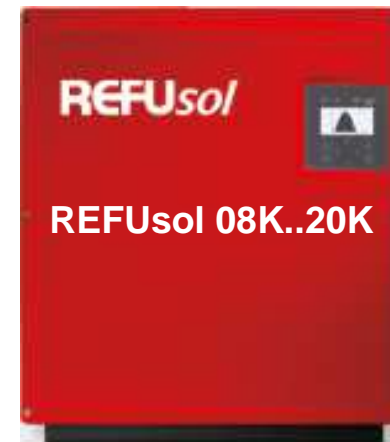
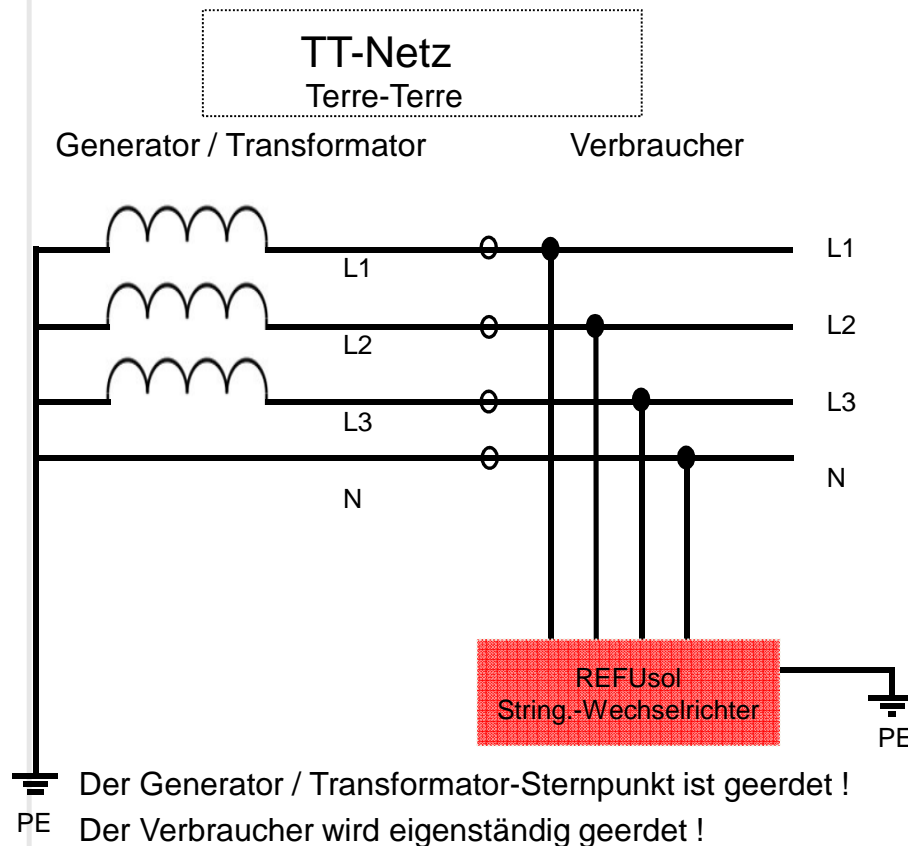
Der Generator / Transformator-Sternpunkt ist geerdet !  
Gemeinsame Leitung für PE und N-Leiter !  
Am Gerät separate Klemmen für PE und N !



Diesen Hilfs-Neutral  
kann man tolerieren.



# Nicht-öffentliches-Sonder-Niederspannungs-Stern-Netz in Europa kann auch in TT-Topologie ausgeführt sein



Nicht zulässig, da es keine Mantelleitung ohne PE gibt und PE nie fremd verwendet werden darf !

**→ Es muss jeder ans Sonder-Niederspannungsnetz angeschlossene PV-Wechselrichter in Stern-TT mit Neutral und separater Erdung ausgeführt sein.**



## Fehler - Niederspannungs-Stern-Netz

PE ist immer grün-gelb (grün auch möglich)  
Neutral ist immer hell-blau

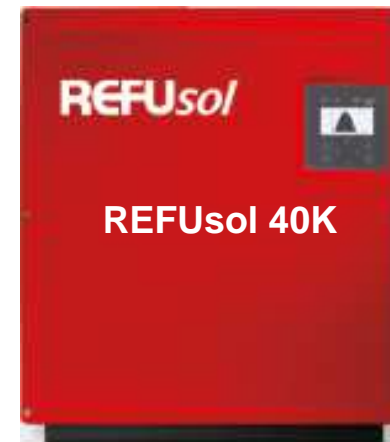
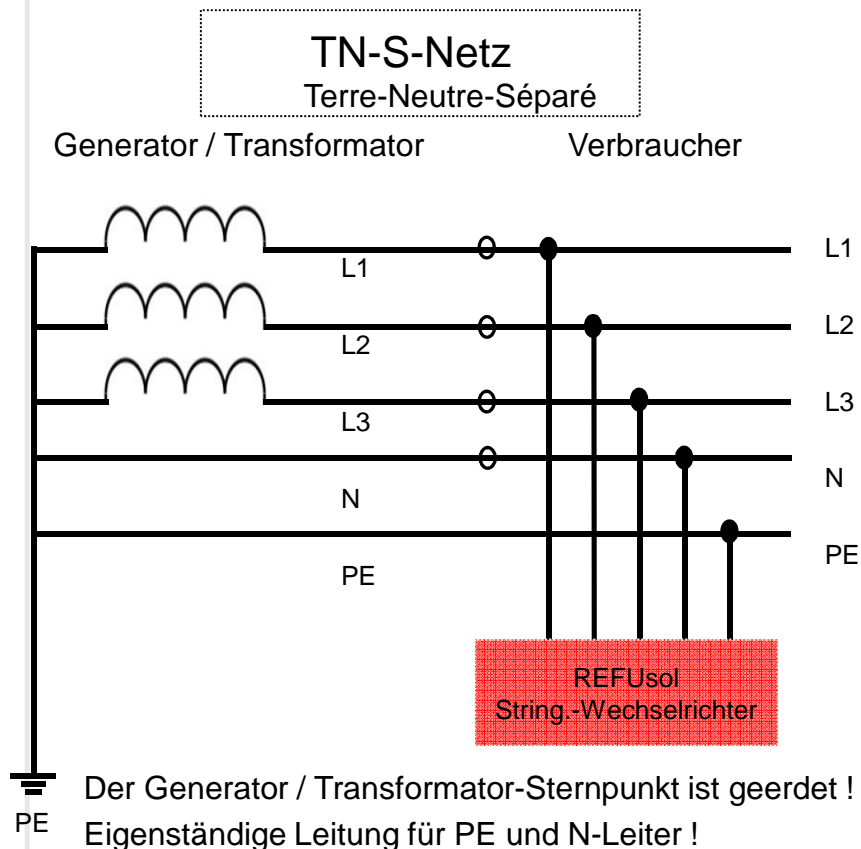


Bild gesehen in Korea:

**PE ist niemals Neutral oder Phase,  
auch nicht wenn das Gerät separat  
geerdet ist !**



# Niederspannung-Stern-Netz – Europa in TN-S-Topologie



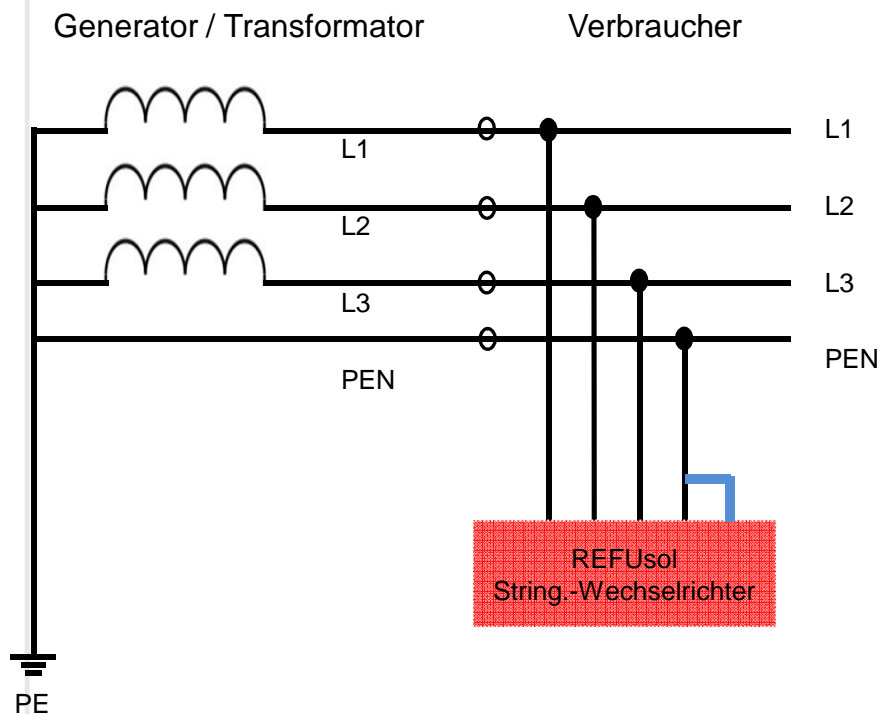
Farbige Mantelleitung



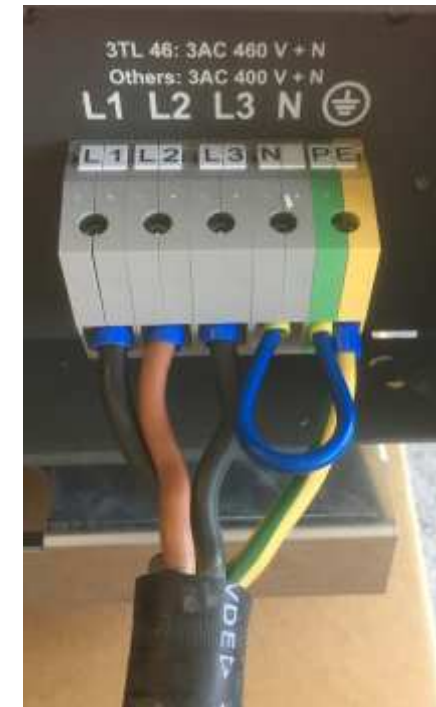
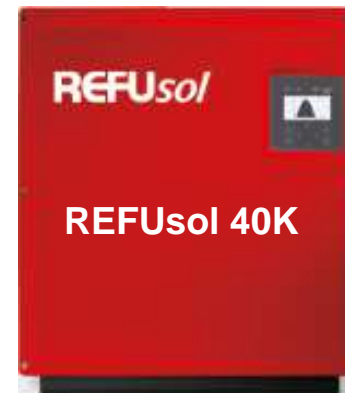
**→ Wenn Stern TN-S-Netz, dann mit Mantelleitung 5 Adern inklusive Neutral + PE**

# Niederspannungs-Stern-Netz außerhalb Europa in TN-C-Topologie

TN-C-Netz  
Terre-Neutre-Combiné

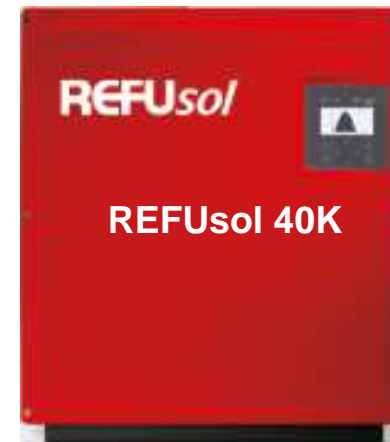
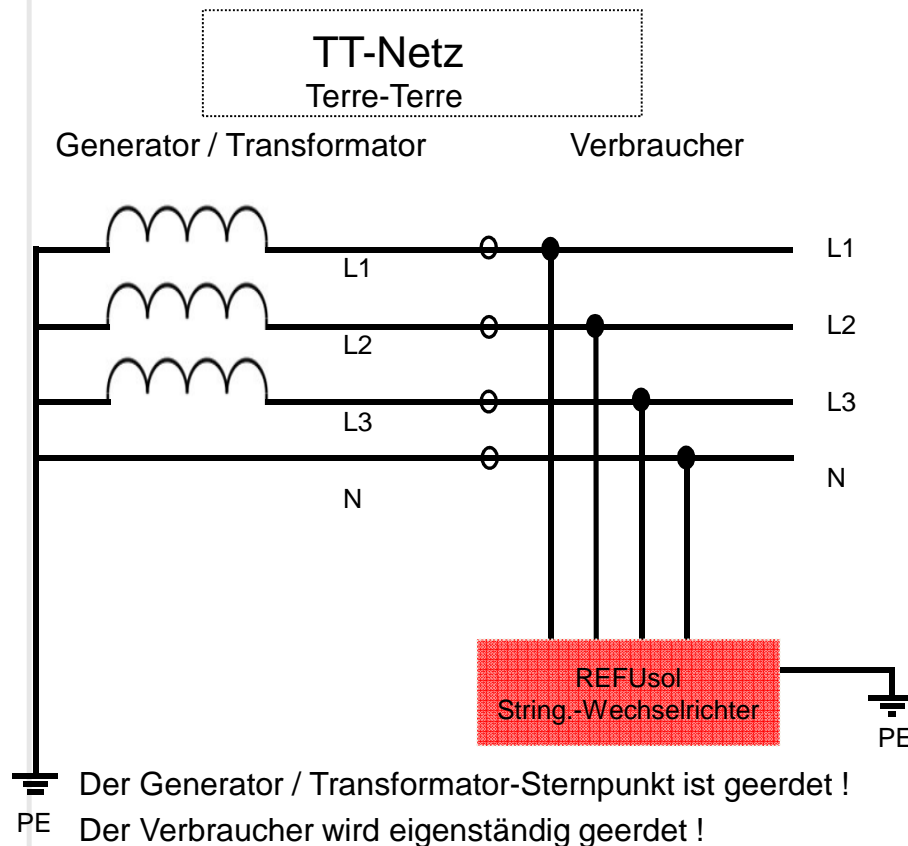


Der Generator / Transformator-Sternpunkt ist geerdet !  
Gemeinsame Leitung für PE und N-Leiter !  
Am Gerät separate Klemmen für PE und N !



**Diesen Hilfs-Neutral  
kann man tolerieren.**

# Nicht-öffentliches-Sonder-Niederspannungs-Stern-Netz in Europa kann auch in TT-Topologie ausgeführt sein

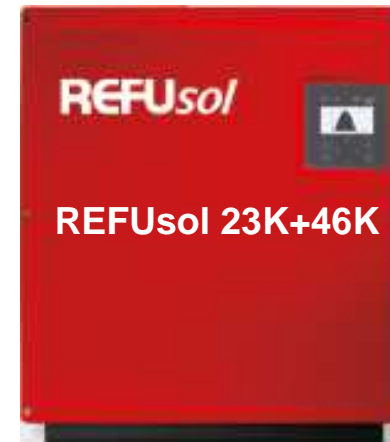
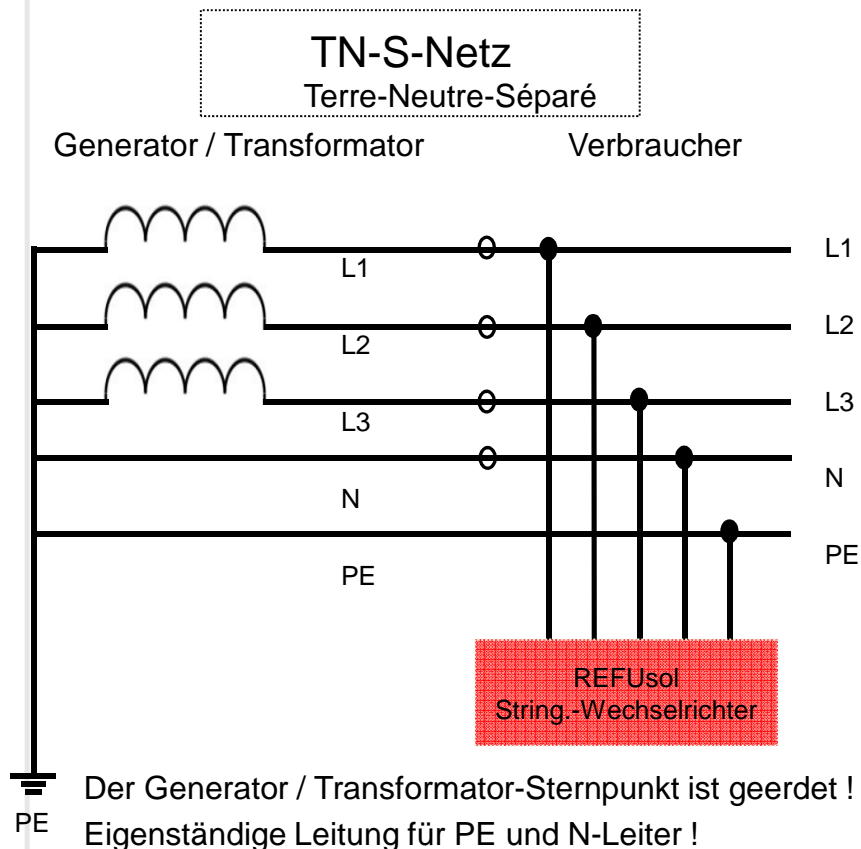


Nicht zulässig, da es keine Mantelleitung ohne PE gibt und PE nie fremd verwendet werden darf !

➔ Es muss jeder ans Sonder-Niederspannungsnetz angeschlossene PV-Wechselrichter in Stern-TT mit Neutral und separater Erdung ausgeführt sein.



# Mittelspannung-Netz über Trafo – Europa in TN-S-Topologie

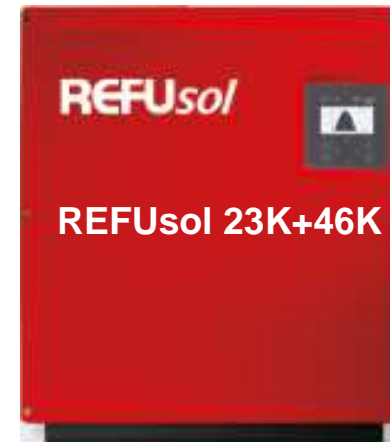
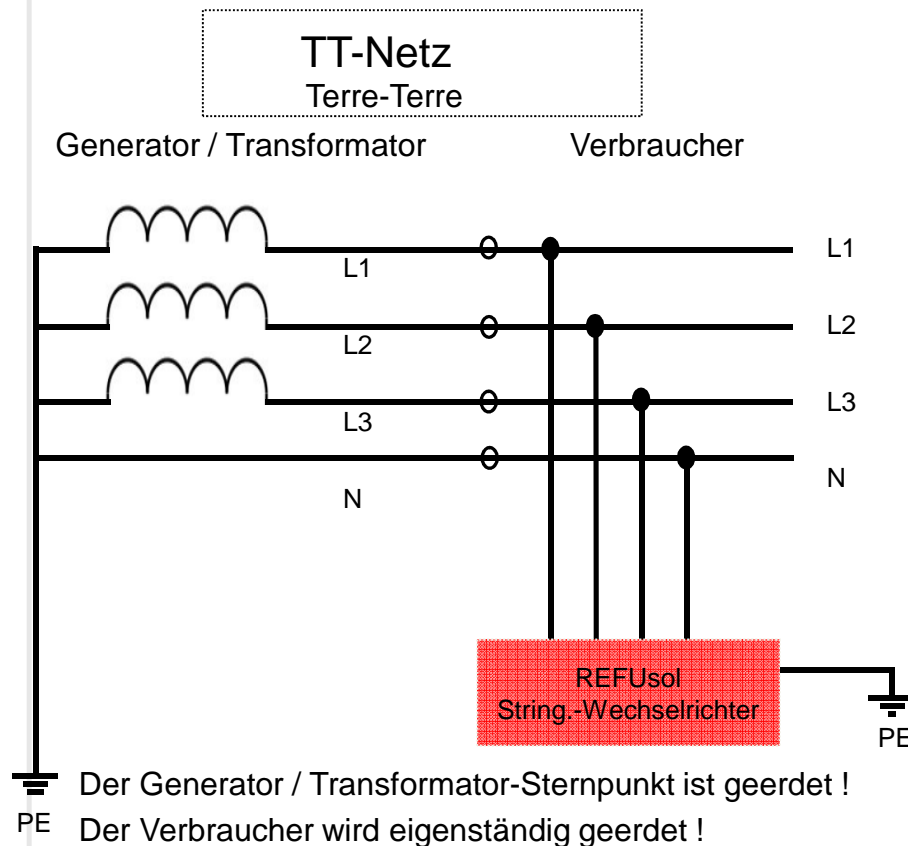


Farbige Mantelleitung



**➔ Wenn Stern TN-S-Netz, dann mit Mantelleitung 5 Adern inklusive Neutral + PE**

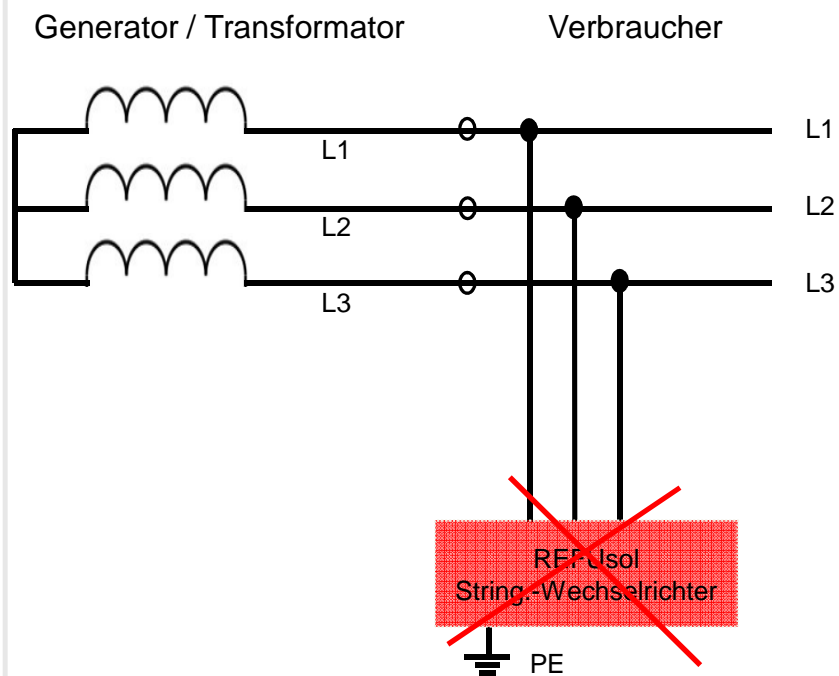
# Mittelspannung-Netz über Trafo – Europa in TT-Topologie



Nicht zulässig, da es keine Mantelleitung ohne PE gibt und PE nie fremd verwendet werden darf !

**→ Es muss jeder ans Sonder-Niederspannungsnetz angeschlossene PV-Wechselrichter in Stern-TT mit Neutral und separater Erdung ausgeführt sein.**

## Mittelspannung-Netz – Europa in Delta-Topologie



**Es fehlt der Neutralleiter !**

Der Generator / Transformator-Sternpunkt ist nicht geerdet !  
Der Verbraucher wird eigenständig geerdet !  
Kein Neutralleiter vorhanden !

## Zusammenfassung

Für (heute bekannte) REFUsol-String-Wechselrichter  
ist ausschließlich die 3AC-Sternschaltung mit Neutral brauchbar !

Die Delta-Schaltung führt keinen Neutralleiter.

- Keine Messmöglichkeit Phase gegen Neutral
- Kein unsymmetrischer N-Leiter-Strom zulässig
- Keine Symmetrierung des Elko-Mittelpunkts gegen PE möglich

Für (heute bekannte) REFUsol-String-Wechselrichter  
ist ausschließlich die mehradrige 3AC-Mantelleitung brauchbar !

- Es gibt keine Mantelleitungen ohne PE-Leiter
- Einzeladern sind an der Verschraubung nicht dicht
- Einzeladern haben eine höhere Induktivität



## Zusammenfassung

### Strombelastung Neutralleiter:

Der Neutralleiter führt Strom.

Bei REFUsol-String-Wechselrichtern bei Umladevorgängen und Asymmetrien  $< 1\text{A}$ .

Der Neutralleiter-Querschnitt ist immer gleich dem Außenleiter-Querschnitt.

### Strombelastung Schutzleiter:

Der Schutzleiter darf nur Netzfilter-Strom der Frequenz 50..60 Hz führen.

Kein anderer Betriebsstrom !

Der Schutzleiter-Querschnitt ist bis 16 mm<sup>2</sup> gleich dem Außenleiter-Querschnitt.

Der Schutzleiter-Querschnitt darf über 16 mm<sup>2</sup> eine Stufe kleiner als der Außenleiter-Querschnitt sein.

## Zusammenfassung

Welche Vorteile hat die Verwendung des „geklemmten“ Neutralleiters bei REFUsol-String-Wechselrichtern?

1. Der Neutralleiter erlaubt eine Netzmessung Phase gegen N, um einen Inselbetrieb noch zuverlässiger auszuschließen.
2. Der an den Kondensatormittelpunkt geklemmte Neutralleiter legt dieses Potential auf Erdpotential. Damit ist dieser Mittelpunkt nicht springend.  
Dies reduziert die auftretenden Spannungen DC-Plus und DC-Minus gegen Erde auf den halben Wert. Dadurch verringern sich die Umladestöme der parasitären Kapazitäten des Panels auf ein Viertel. Vorteil: Mehr Lebensdauer der Panelisolierfolie.
3. Der gesplittete Hochsetzsteller kann exakt die Plus-Kondensatorspannung und die Minus-Kondensatorspannung einstellen und überwachen. Vorteil: Mehr Lebensdauer der Kondensatoren, da die Spannungen aktiv symmetrisch sind.
4. Symmetrische Systeme sind im EMV-Verhalten besser.
5. Es können problemlos viele String-Wechselrichter an eine Trafowicklung an geklemmt werden.  
Im Gegensatz dazu braucht jeder Wechselrichter in Delta-Schaltung eine eigene isolierte Trafowicklung.

## Zusammenfassung

Welche Nachteile hat die Verwendung des „geklemmten“ Neutralleiters bei REFUsol-String-Wechselrichtern?

1. Der Neutralleiter ist AC-seitig zu verlegen, was Standard bei Anlagen im Residential-Bereich ist.
2. Die hinsichtlich dem Wirkungsgrad beste DC-Solarspannung liegt höher. Dies ist bei Anlagen ab 20 KW nie ein Problem. Man muss es nur richtig planen. Typisch 20..24 polykristalline Panels in Serie.
3. Intern brauchen wir für den gesplitteten DC-DC-Booster mehr Bauteile. Diese aber in kleinerer Dimensionierung und mit höherem magnetischen Wirkungsgrad.

## REFUsol-MiniManual 11 Transformers and Grids

### **Important notices**

This MiniManual is only for REFUsol-employees and REFUsol service partners.

It may not be passed on to other people.

There is no guaranteed-performance and liability claim.

## Electrical Grids



Whitch type of electriccal grid fits for REFUsol-String-Inverters ?  
Delta-Grid <-> Y-Grid



## Power Generation – Electrical Grid



## Power Generation – Electrical Grid

High Voltage  
110 kV ... 220 kV ... 380 kV



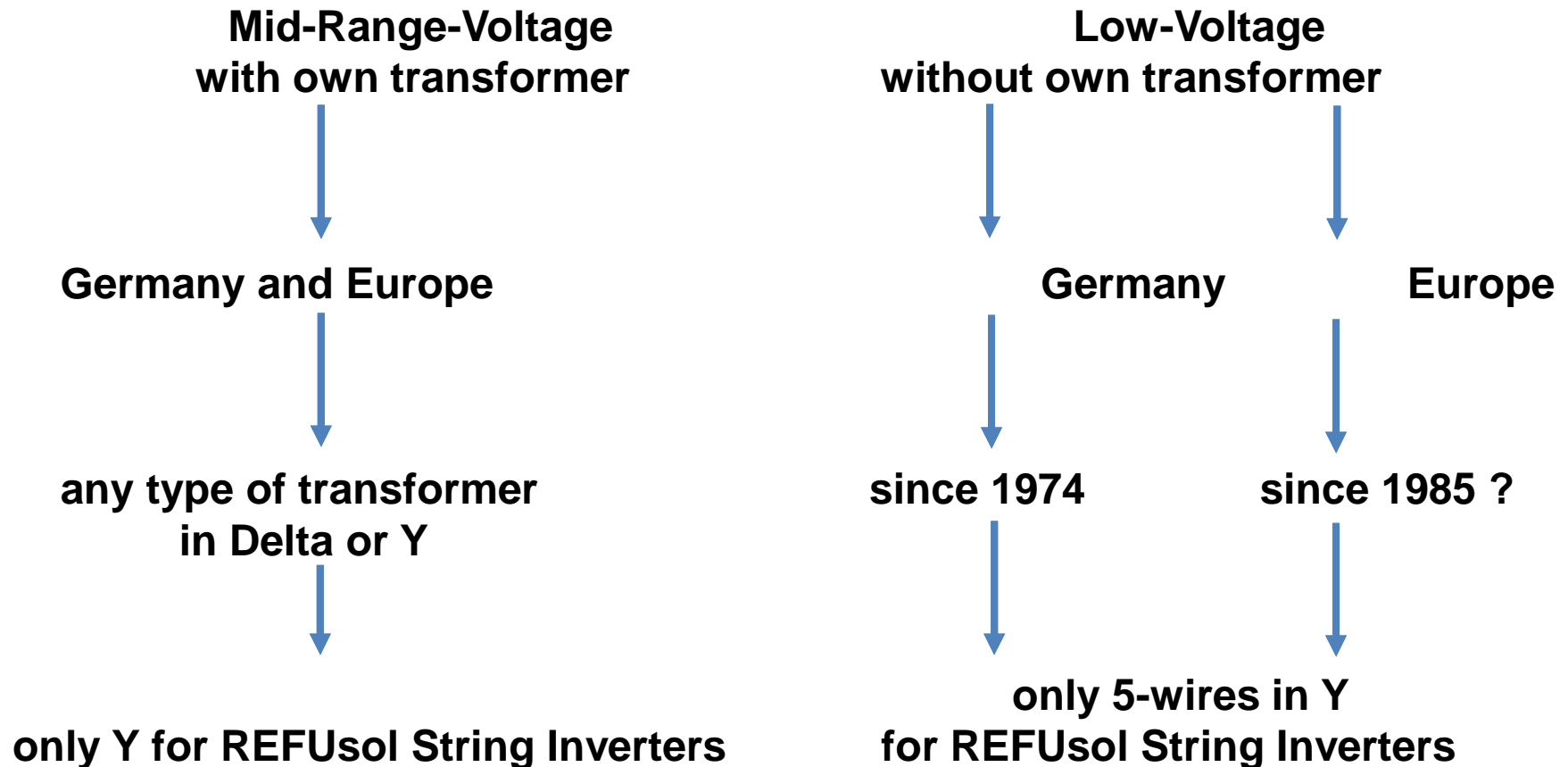
Mid-Range-Voltage  
1 kV ... **20 kV** ... 35 kV



Low-Voltage 0,4 kV  
(up to 1 kV)



## Electrical Grids in Europe



## Public Low-Voltage-Grid Europe from Mid-Range-Voltage via transformer to Low-Voltage



**Extern always 3AC 400 V + PEN**

▪



## Public Low-Voltage-Grid in Greece from Mid-Range-Voltage via transformer to Low-Voltage



**Mid-Range-Voltage in Delta 3AC 10 000 V**



**Extern always  
3AC 400 V + PEN**

**Intern  
3AC 400 V + N + PE  
or (old)  
3AC 400V + PEN**





# Transformer Designs for REFUsol-String-Inverters

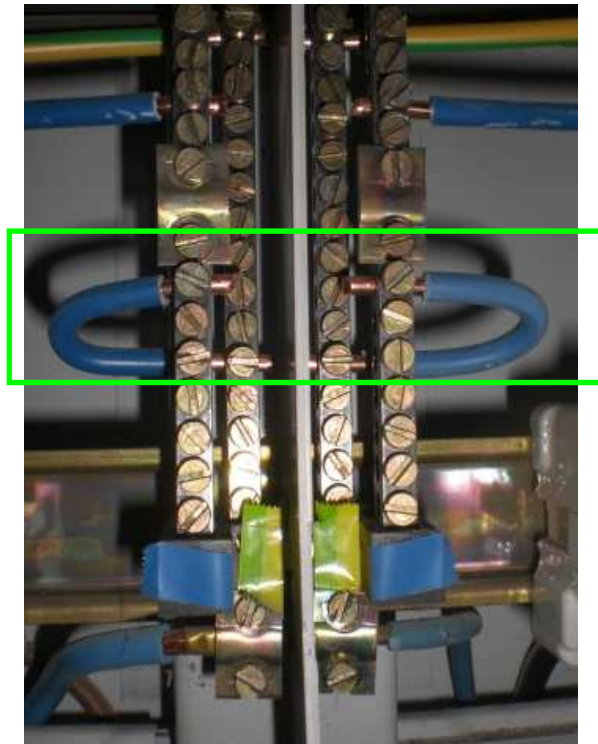
Schaltgruppe	Zeigerbild	Schaltbild	Sek. Sternpunkt	Schaltgruppe	Zeigerbild	Schaltbild	Sek. Sternpunkt
D d 0			Nicht vorhanden	D d 0			Nicht vorhanden
Y v 0			Ca. 10% belastbar	Y v 6			Ca. 10% belastbar
D z 0			Voll belastbar	D z 6			Voll belastbar
D y 5			Voll belastbar	D y 11			Voll belastbar
Y d 5			Nicht vorhanden	Y d 11			Nicht vorhanden
Y z 5			Voll belastbar	Y z 11			Voll belastbar

**Fits to REFUsol String Inverter**

## Low-Voltage-Grid in Germany – Residential Installation

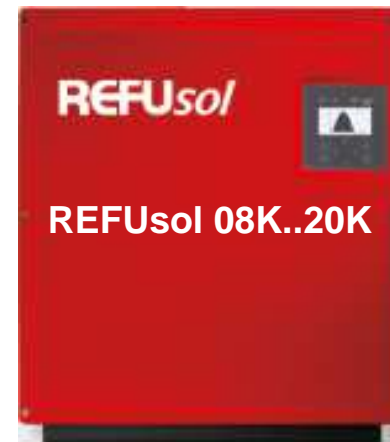
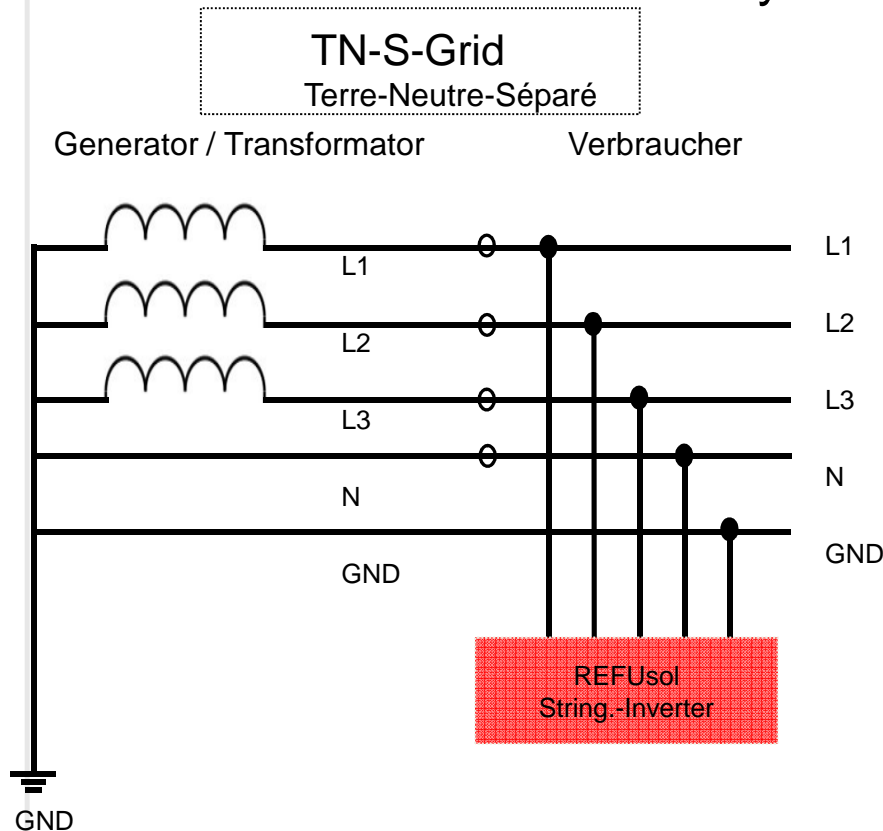


In a residential substation  
fuses / branch circuit protectors  
Colours for active leads:  
black + grey + brown  
not allowed: light-blue, dark-blue, green, yellow, red

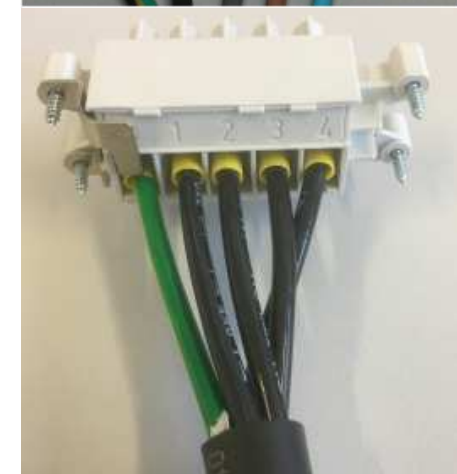
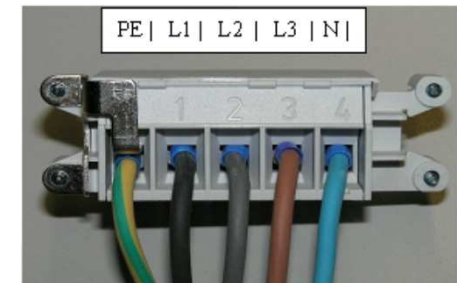


GND always green-yellow (or green)  
Neutral always light-blue  
There is exact one connection Neutral-GND in  
each building !

# Public - Residential Y-Grid – Europa always in TN-S-Topology



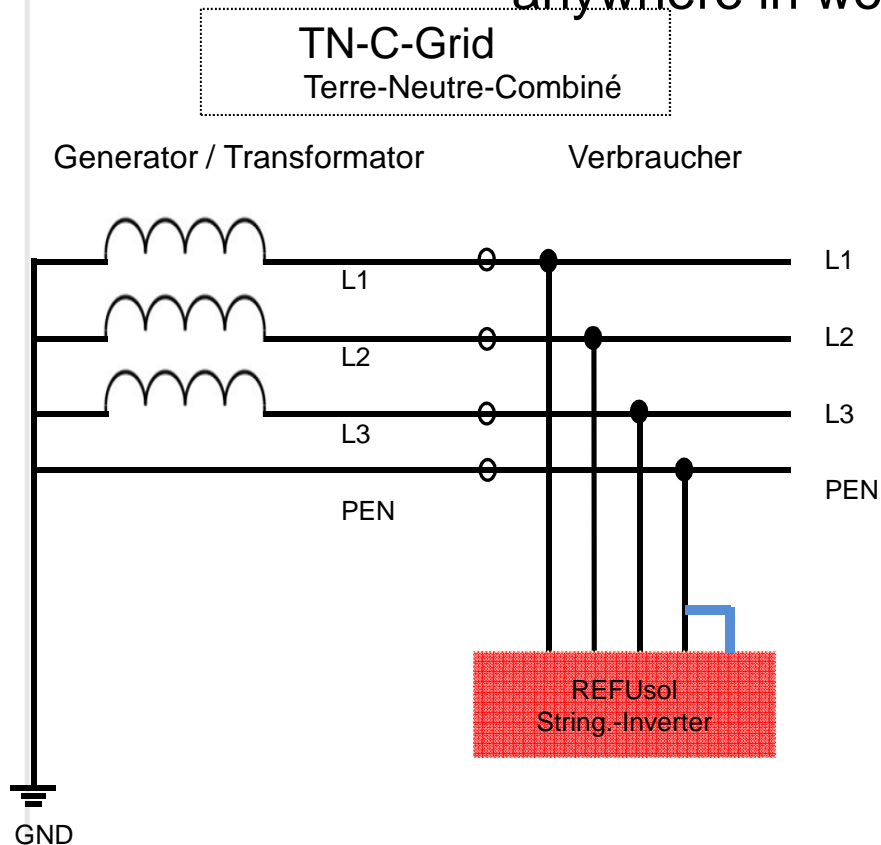
Bundled Cable with colours



Bundled cable with numbers

**➔ Every PV-inverter needs to be connected to the public grid  
in Y-TN-S-Grid with 5 wires inclusive Neutral.**

# Y-Grid with 4 Wires anywhere in world in TN-C-Topology

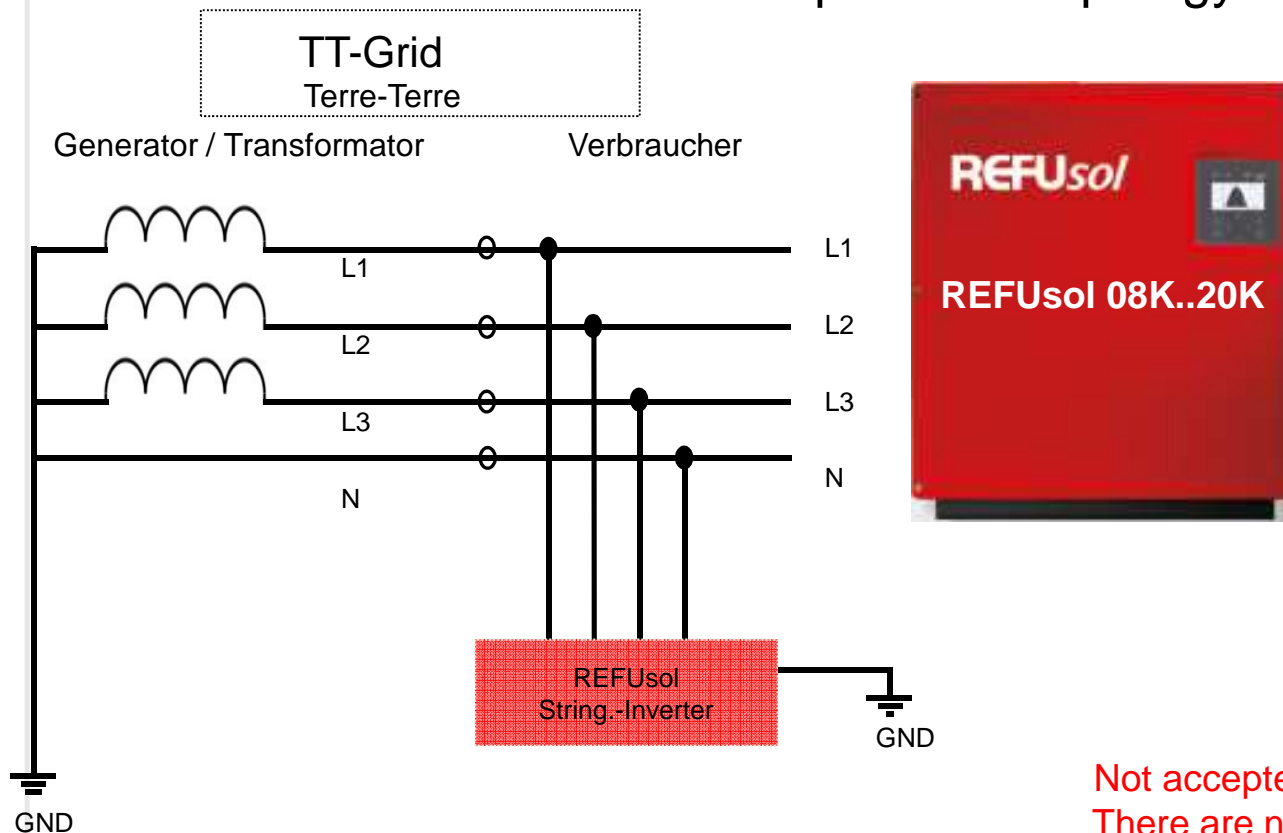


This version with 4 wires + a bridge  
is acceptable



**➔ Every PV-inverter needs to be connected to the public grid  
in Y-TN-C-Grid with 4 wires.**

## Non-Public-Low-Voltage-Y-Grid in Europe in TT-Topology



Not accepted !  
There are no bundled cables without GND !

➔ **Every PV-inverter needs to be connected to this  
Y-TT-Grid with 4 wires + individual grounding.**



## Fault Connection

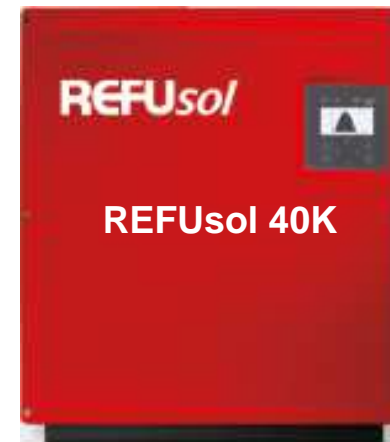
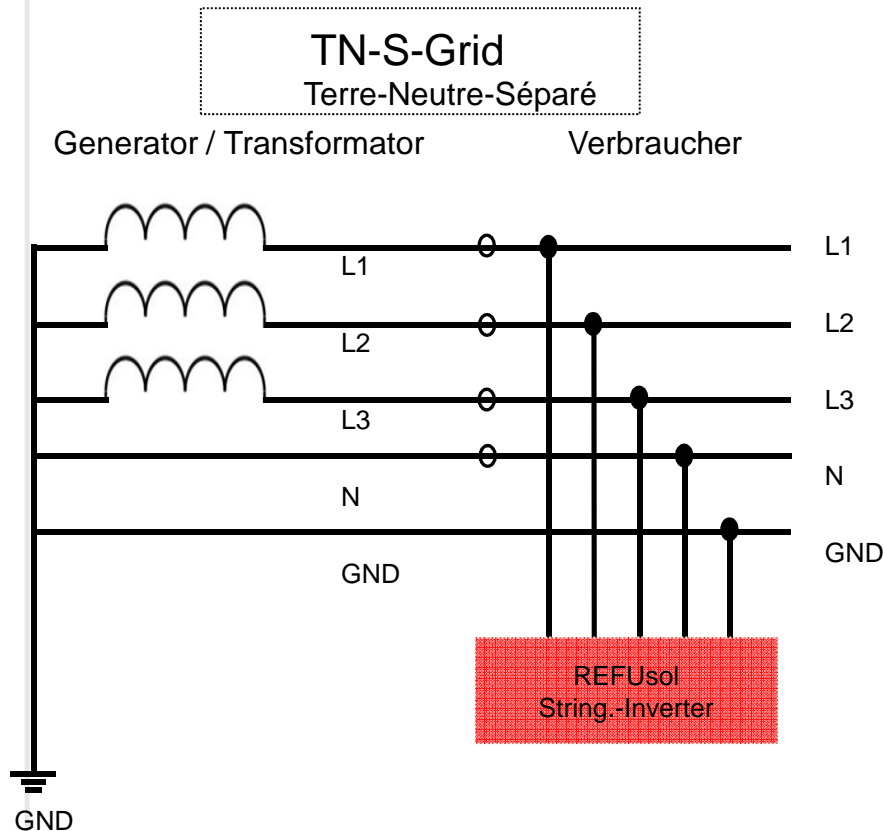
GND is always green-yellow or green  
Neutral is typically light blue



GND is never Neutral;  
even with an additional grounding !



# Low-Voltage Y-Grid – Europa in TN-S-Topology

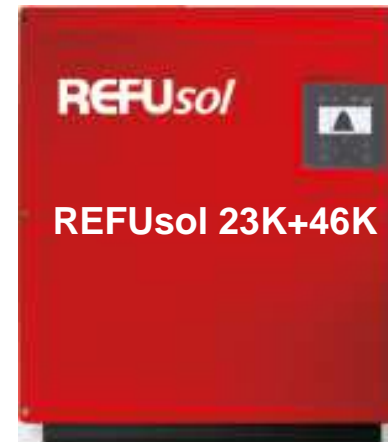
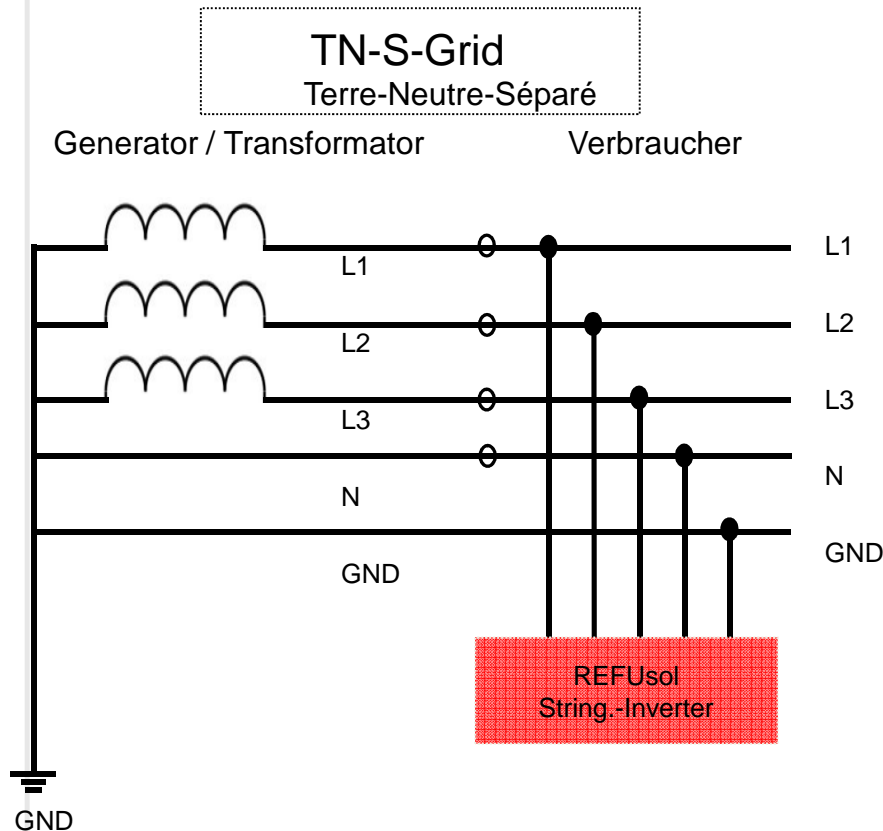


Bundled Cable with colours



**➔ Connection to TN-S-Grid with bundled cable  
5 wires inclusive Neutral and GND**

## Mid-Range-Grid-Connection – Europe in TN-S-Topology

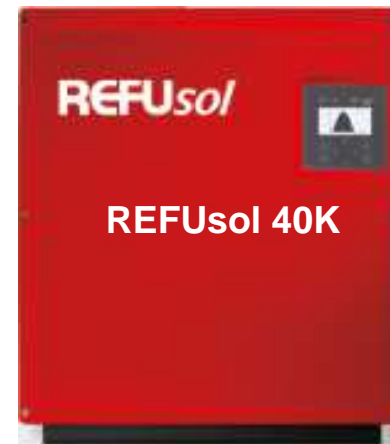
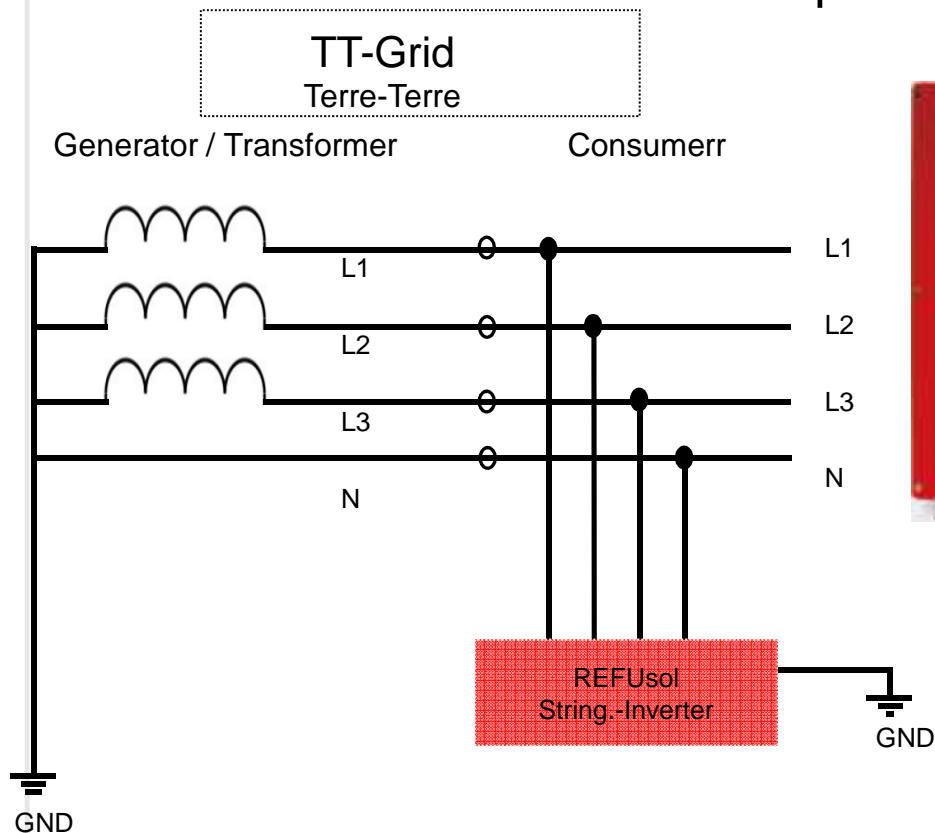


Bundled cabel with coloured wires



**➔ Connection to Y-TN-S-Grid with bundled cable  
5 wires inclusive Neutral and GND**

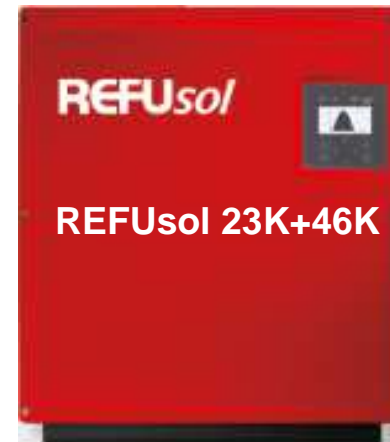
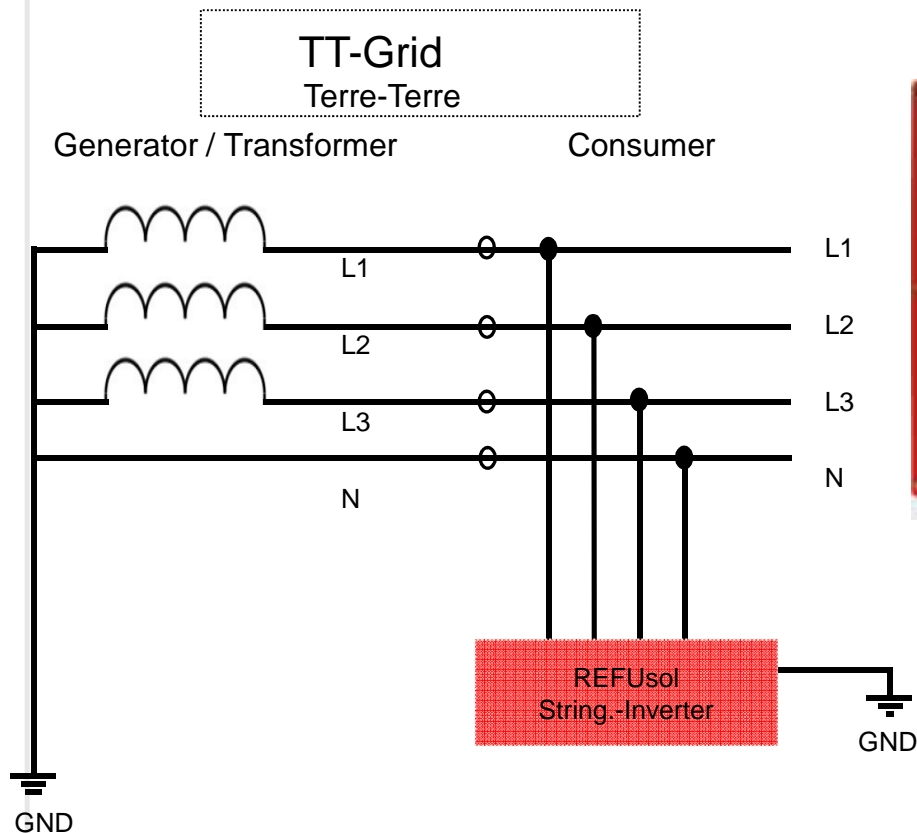
## Non-residential-Low-Voltage-Y-Grid in Europe in TT-Topology



Not accepted !  
There are no bundled cables without GND !

➔ The PV-inverters need a separate grounding in TT-topology with Neutral

## Mid-Range-Grid – Europe in TT-Topology

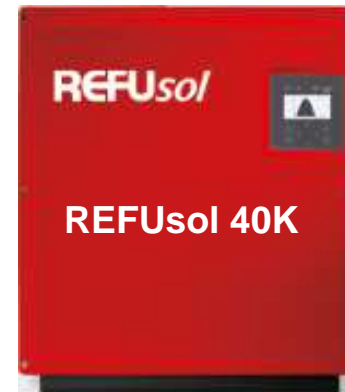
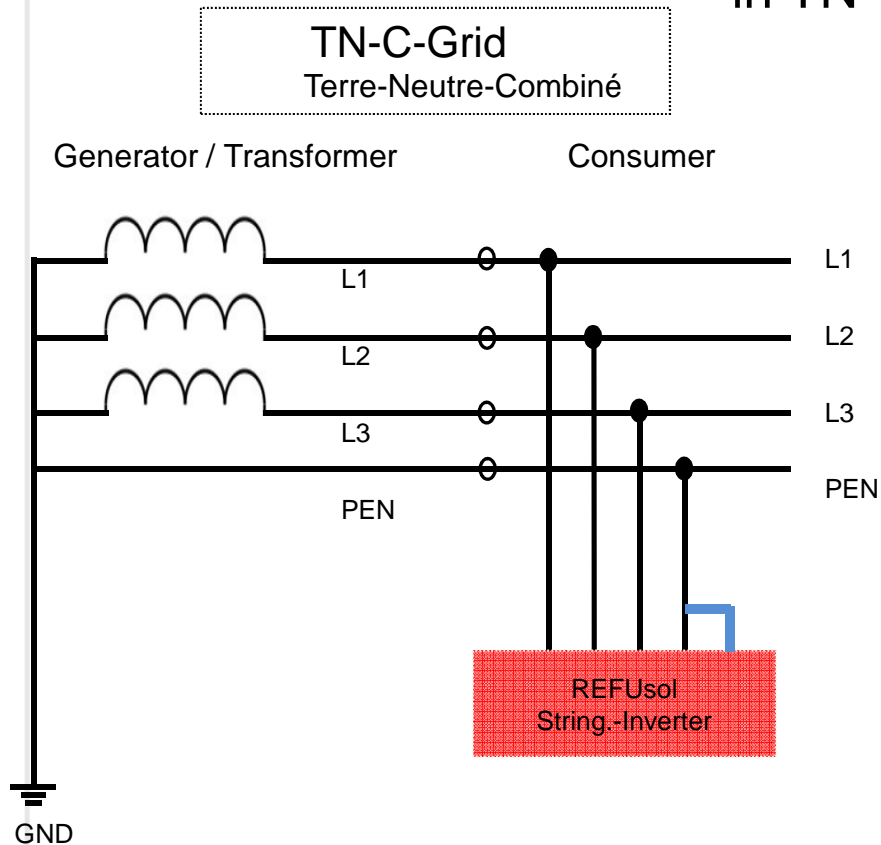


Not accepted !  
There are no bundled cables without GND !

➔ The PV-inverters need a separate grounding in TT-topology with Neutral

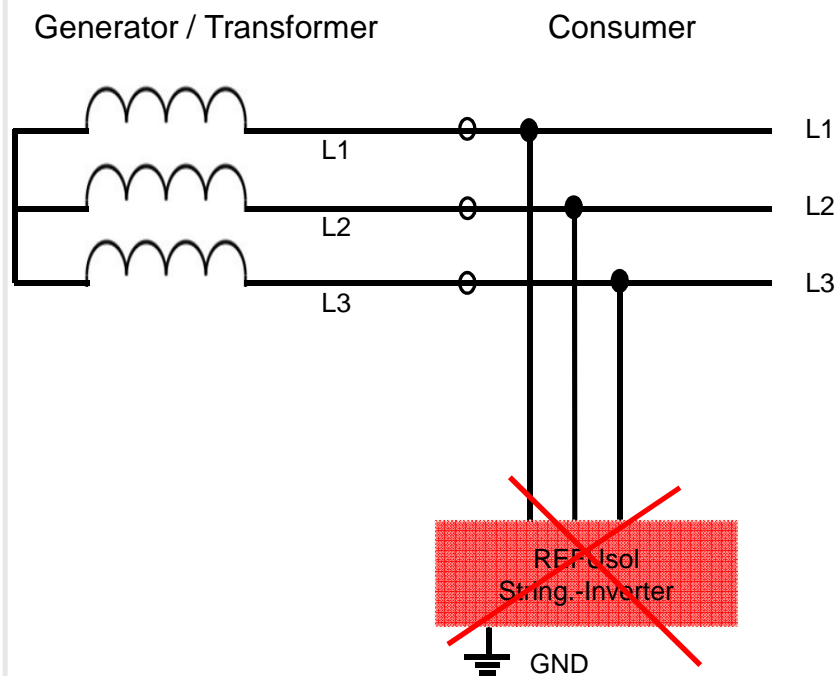


## Low-Voltage-Y-Grid in TN-C-Topology



This version with 4 wires  
+ a bridge is acceptable

## Mid-Range-Voltage-Grid in Delta-Topology



**Neutral is missing !**

## Summary

For (today's) REFUsol-inverters only the 3AC-Y-configuration is possible !  
Delta is not providing the Neutral.

- no metering Phase to Neutral possible
- no unsymmetric Neutral current possible
- no active symmetry of mid of capacities to GND possible

For (today's) REFUsol-inverters only the bundled AC-cable is possible !

- there are no bundled cables without GND-wire
- single wires are not tight at the cable fittings
- single wires have a higher inductivity

Cross section of Neutral wire and GND wire:

Neutral-wires lead current in any frequency.

The max. current of REFUsol inverters is less than  $< 1$  A during operation.

The cross section of Neutral-wire is the same as the phase conductor.

The cross section of GND-wire might be reduced by one step starting at 16 mm<sup>2</sup>.