



# Anwendungsblatt

TripleLynx-Wechselrichter für große PV-Aufdachanlagen

Januar 2010

## Inhaltsverzeichnis

1	Einführung – Management-Übersicht.....	2
2	Optimierter Aufdachanlagenaufbau.....	4
2.1	Aspekte des DC-seitigen Layouts.....	4
2.2	Aspekte des AC-seitigen Layouts.....	7
2.3	Umgebungsaspekte.....	8
2.4	Datenkommunikation.....	8
3	Service und Anlagenverfügbarkeit.....	10
4	Anhang A – Schaltpläne.....	10
4.1	Aufbauplan Niederspannungsverteilung.....	10

# Application Paper

## - TripleLynx-Wechselrichter für große PV-Aufdachanlagen

### 1 Einführung – Management-Übersicht

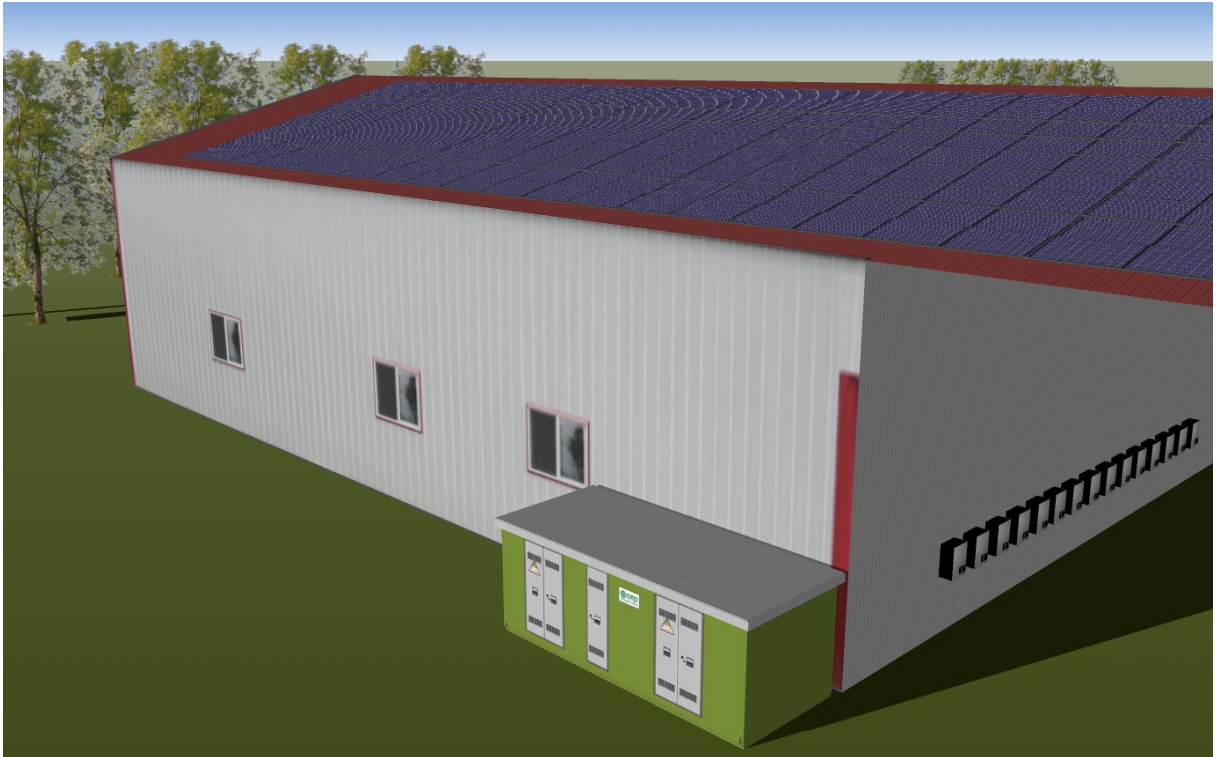
Dieses Paper soll die optimale Auslegung einer PV-Aufdachanlage mithilfe von Strangwechselrichtern mit hohem Wirkungsgrad beschreiben.

Bei der Planung einer PV-Aufdachanlage sind mehrere Punkte zu berücksichtigen. Durch Optimierung der Systemauslegung lässt sich der Energieertrag bedeutend erhöhen und gleichzeitig Systemkosten senken. Eine Kostensenkung wird durch eine vereinfachte Auslegung erreicht. Dies hat ebenfalls den Vorteil, die zur Installation benötigten Arbeitsstunden zu verringern.

Moderne Strangwechselrichter bieten wichtige Vorteile gegenüber Zentralwechselrichtern, wie einen hohen DC-Systemspannungsbereich und dreiphasige Netzeinspeisung bei gleichzeitig hohem Wirkungsgrad. Die niederspannungsseitigen Leitungsverluste sowohl auf AC- als auch auf DC-Seite werden reduziert und damit ein hoher Ertrag gesichert. Eine große Anzahl von MPP-Trackern führt dazu, dass mehr Leistung von den Paneelen genutzt werden kann. Zudem kann auf Generatoranschlusskästen und zusätzliche Strangüberwachung verzichtet werden, was die Verkabelung erheblich vereinfacht.

Anders als Zentralwechselrichter, die eine Umhausung benötigen (in der Regel eine Schwerbeton-Umspannstation), ist eine Platzierung von Strangwechselrichtern einfach unter vorhandenen Gebäuden, in der Nähe von kompakten Transformatorstationen möglich. Der Transformator kann bereits im Gebäude vorhanden sein, oder wird nicht benötigt, da die Wechselrichter direkt an das öffentliche Netz einspeisen können.

Für die Installation, Wartung oder den Austausch von Strangwechselrichtern ist kein besonderes Training notwendig. Ein Wartungsvertrag, wie er bei Zentralwechselrichteranlagen üblich ist, wird nicht benötigt. Die Anlage kann von jedem Elektroinstallateur gewartet werden. Es entfällt auch die Wartung der Generatoranschlusskästen.



**Abbildung 1** Aufdachinstallation mit Strangwechselrichtern basierend auf kristallinen Modulen

Dieses Beispiel zeigt ein Layout mit 100 kWp/90 kWac (432 monokristalline Module, 230 Wp mit 60 Zellen) auf einem Schuppendach mit parallel angeordneten Modulen und einer separaten Transformatorstation.

## 2 Optimierter Aufdachanlagenaufbau

Die Planung einer PV-Anlage soll langfristig zum Erreichen von hohen Anlagenerträgen führen. Das setzt auf der einen Seite den Einsatz von Wechselrichtern und Mittelspannungstransformatoren mit bestmöglichem Wirkungsgrad, die Minimierung von Verschattungs- und Leitungsverlusten und eine sehr gute Anlagenüberwachung voraus.

Auf der anderen Seite sollen Planungs-, Material- und Installationskosten so gering wie möglich sein.

Durch den Einsatz von Wechselrichtern mit 1000 V maximaler DC-Spannung ist es in der normalen Betriebsart einfach, eine Nennspannung von rund 700 V zu erreichen. Im Vergleich zur verketteten Phasenspannung von 400 V auf der AC-Seite ergibt sich dadurch die Empfehlung, dass der meiste Teil des Energietransports auf der DC-Seite erfolgen sollte. Durch diese Vorgehensweise können der Kabelquerschnitt insgesamt und/oder Kabelverluste verringert werden.

### 2.1 Aspekte des DC-seitigen Layouts

#### 2.1.1 Auslegungsfaktor

Eine Anlage, die Strom über hocheffiziente Wechselrichter in Mitteleuropa nutzt, darf einen Faktor von  $P_{\text{solar}}/P_{\text{Wechselrichter}} = 1,12$  nicht überschreiten. Das entspricht der Empfehlung von Dr. Bruno Burger<sup>1</sup>.

Bei mono- oder polykristallinen Solarmodulen mit 156 x 156 mm Solarzellen sind zwei Optionen einsetzbar:

- 1 Strang mit 24 Modulen (220 W mit 60 Zellen) an jedem der 3 Eingänge
- 1 Strang mit 30 Modulen (175 W mit 48 Zellen) an jedem der 3 Eingänge

Für Installationen in Südeuropa ist eine geringere Überdimensionierung zu empfehlen, die man leicht realisieren kann. Bei kristallinen Modulen können weniger Module pro String verschaltet werden. Der angegebene Auslegungsfaktor gilt für ein Dach mit optimalen Bedingungen. Dies läuft auf eine südliche Ausrichtung mit einer Neigung von rund 30° hinaus. Je weiter von optimaler Ausrichtung und Neigung entfernt, desto höher sollte der Auslegungsfaktor sein. So könnte ein Dach mit einer Neigung von 45° und einer Ausrichtung nach Westen einen Auslegungsfaktor von etwa 1,18 aufweisen, da das Dach nicht den ganzen Tag der Sonne ausgesetzt ist und die Sonneneinstrahlung geringer ist, wenn die Sonnenstrahlen senkrecht auf das Dach einschlagen. Ein Dach mit einer Neigung von 6° und einer Ausrichtung nach Westen muss auch einen maximalen Auslegungsfaktor von rund 1,18 aufweisen, da das Dach zwar nahezu den ganzen Tag der Sonne ausgesetzt ist, die Sonnenstrahlen jedoch in schrägem Winkel eintreffen.

---

<sup>1</sup> Auslegung und Dimensionierung von Wechselrichtern für netzgekoppelte PV-Anlagen, Dr.-Ing. Bruno Burger, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Heidenhofstraße 2, D-79110 Freiburg.  
[http://www.ise.fraunhofer.de/veroeffentlichungen/nach-jahrgaengen/2005/auslegung-und-dimensionierung-von-wechselrichtern-fur-netzgekoppelte-pv-anlagen/at\\_download/file](http://www.ise.fraunhofer.de/veroeffentlichungen/nach-jahrgaengen/2005/auslegung-und-dimensionierung-von-wechselrichtern-fur-netzgekoppelte-pv-anlagen/at_download/file)

Nordwesten	Westen	Südwesten	Süden	Südosten	Osten	Nordosten	Nord	Neigung in °
125	125	118	118	118	125	125	125	<10
125	118	112	112	112	118	125	125	10
125	118	112	112	112	118	125	125	20
125	118	112	112	112	118	125	125	30
125	118	112	112	112	118	125	125	40
125	118	112	112	112	118	125	125	50
125	118	112	112	112	118	125	125	60
125	125	118	118	118	125	125	125	70
125	125	118	118	118	125	125	125	80
125	125	125	125	125	125	125	125	90

Tabelle 1 Auslegungsfaktor in % bezogen auf Ausrichtung der Module – Mitteleuropa

### 2.1.2 Spannungsgrenzen

Eine prinzipielle elektrische Kenngröße von photovoltaischen Modulen ist ihr negativer Temperaturkoeffizient. Damit ergibt sich: Bei steigender Temperatur nimmt die Leistung des Moduls ab. In den Datenblättern von Modulen werden drei Temperaturkoeffizienten angegeben: 1) Leerlaufspannung, 2) Kurzschlussstrom und 3) Leistungstemperatur. Der Temperaturkoeffizient von größtem Interesse ist der der Leerlaufspannung (bei kristallinen Modulen typisch -0,35 %/K). Sie zeigt, wie weit sich die Spannung in Bezug auf die Temperatur ändert. Diese Koeffizienten werden gewöhnlich bei STC (Standardtestbedingungen) angegeben. Diese Testbedingungen wurden aufgestellt, um den Vergleich von Modulen zu vereinfachen, da sich jeder Modultyp bei variierender Bestrahlung und Temperatur unterschiedlich verhält. Die Bedingungen bei STC werden mit einer Bestrahlung von 1000 W/m<sup>2</sup>, einer Umgebungstemperatur von 25 °C und einer Windgeschwindigkeit von 1,5 m/s angegeben. Mit den Jahren hat sich herausgestellt, dass dies sehr theoretische Werte sind. Es wurde ein zusätzlicher Wert benötigt. Damit entstand die NOCT. NOCT steht für Normal Operation Cell Temperature oder Zellentemperatur bei Nennbetrieb. Auch dieser Wert wird auf dem Datenblatt eines Moduls angegeben und steht für die typische Zellentemperatur gemessen über ein Jahr (bei kristallinen Modulen rund 45 °C). Durch Verwendung dieses Werts wird es einfacher, ein optimales System zu entwerfen.

Zwei Werte müssen berücksichtigt werden: die NOCT-Spannung sowie ein ungünstigster Fall (normalerweise -10 °C, 1000 W/m<sup>2</sup> in Mitteleuropa)<sup>2</sup>. Die Berechnung für den ungünstigsten Fall muss berücksichtigen, dass das Szenario mit maximalen 1000 Volt Eingang nicht überschritten wird.

Ungünstigster Fall: 
$$U_{oc - 10^\circ} = U_{oc25^\circ} \times \frac{100 + ((\alpha \times -1) \times (25^\circ + 10^\circ))}{100}$$

NOCT: 
$$U_{mpp / noct} = U_{mpp25^\circ} \times 100 - \frac{((\alpha \times -1) \times (NOCT - 25))}{100}$$

$\alpha$  = Temperaturkoeffizient von  $U_{oc}$

<sup>2</sup> Bei Standorten mit hoher Wahrscheinlichkeit von gleichzeitig hoher Bestrahlung (>1000 W/m<sup>2</sup>) und niedrigen Temperaturen (< -10 °C) sind besondere Aspekte zu berücksichtigen. Dies ist in der Regel bei Anlagen in großen Höhenlagen zu finden.

Hocheffiziente Wechselrichter werden für täglichen Einsatz gebaut und haben einen maximalen Wirkungsgrad von 98 % bei 700 Volt. Es ist kein theoretischer Wert, sondern ein Wert, der täglich erreicht werden kann.

Beschränkter Platz am Installationsort kann zum Einsatz von Strängen mit weniger Modulen als bei einer optimalen Lösung führen. Durch Ausnutzung des weiten Eingangsbereichs bei einem modernen Strangwechselrichter können Stränge dieser Art erstellt werden, ohne den Wechselrichterwirkungsgrad übermäßig zu beeinträchtigen. Damit die MPPT-Spannung nicht zu niedrig wird, wenn Leistungsbegrenzungen auftreten, ist die untere MPPT-Spannung bei der maximal erwarteten Modultemperatur zu berechnen. Anschließend ist sicherzustellen, dass der Wert über der minimalen MPPT-Spannung des Wechselrichters liegt. Hierzu kann die Formel für den ungünstigsten Fall verwendet werden, wobei die Temperatur von  $-10\text{ °C}$  mit der maximal erwarteten Modultemperatur ersetzt wird.

### 2.1.3 Maximum Power Point Tracker (MPPT)

Durch Verwendung mehrerer MPPTs können unterschiedliche Modultypen und unterschiedliche Modulanzahlen entsprechend der Dachgröße installiert werden. Ähnlich können unterschiedliche Ausrichtungen und Neigungen mit nur einem Wechselrichter erreicht werden. Je kleiner die Tracking-Größe, desto besser die Möglichkeit, die individuellen Anforderungen zu nutzen. Da Solarmodule Energie erzeugen, wenn die Sonne am Himmel steht, herrschen die idealen Produktionsbedingungen, wenn das Sonnenlicht direkt  $90^\circ$  über den Modulen steht. Wenn daher einige der Module in unterschiedlichen Winkeln oder unterschiedlicher Ausrichtung platziert werden müssen, sind ggf. zwei, drei oder sogar mehr Wechselrichter notwendig. Bei einem Wechselrichter, der mehr als einen MPPT hat, wird nur ein Wechselrichter benötigt.

Darüber hinaus besteht eine natürliche Varianz in der Ausgangsspannung jedes Moduls. Um eine bestimmte Leistung zu erreichen, müssen Module in Serie und vielleicht parallel geschaltet werden (wenn der Wechselrichter nicht mehr als einen MPPT hat). Am Ausgang ergibt dies einen Durchschnitt von Spannung und Strom. Je kleiner die Anzahl der überwachten Geräte, desto höher wird die Überwachungsgenauigkeit und desto höher wird der Ertrag, da Fehlanpassungsverluste stark reduziert werden.

Zur Reduzierung der Verluste durch Verschattung empfehlen wir eine Strangverschaltung in getrennten Reihen. Wenn eine Reihe betroffen ist, hat dies keinen Einfluss auf das gesamte System, da jeder Strang an seinen eigenen MPPT angeschlossen ist. Weiterhin betreffen Temperaturdifferenzen auf Schrägdächern nicht das gesamte System, sondern nur die entsprechende Fläche.



**Abbildung 2 Verschattung von Modulen**

Bei niedriger Sonneneinstrahlung sind nur die Module an einem String betroffen, vorausgesetzt dass jede Reihe einen eigenen MPP-Tracker hat.

## 2.2 Aspekte des AC-seitigen Layouts

### 2.2.1 Netzqualität

Da Aufdachanlagen häufig auf industriellen Gebäuden verwenden werden, sind in diesen Fällen häufig Schwermaschinen vorhanden, die die AC-Netzqualität beeinflussen. Daher müssen Wechselrichter das Netz beobachten und dürfen nicht leicht abschalten. Stattdessen muss der Wechselrichter das Netz innerhalb der festgelegten Grenzwerte vollständig unterstützen. Die Ride-through-Funktionalität der Wechselrichter ist speziell für diesen Zweck ausgelegt.

### 2.2.2 AC-Kabel

Die Wechselrichterinstallation erfolgt in unmittelbarer Nähe zur Transformatorstation oder zum Energiezähler, dadurch reduzieren sich die Kosten für die niederspannungsseitige AC-Verkabelung, wodurch die Mindererträge durch AC-Leitungsverluste bis zur Transformatorstation nicht mehr nennenswert sind.

Bei Verwendung von 10 mm<sup>2</sup>-Kabeln für die AC-Verschaltung kann der Wechselrichter ohne bedeutende Verluste in einem Abstand von bis zu 20 Metern platziert werden.

### 2.2.3 Transformatorstation

Wenn ein Niederspannungsanschluss (NS) mit Nennleistung nicht möglich ist, wird ein getrennter Transformator benötigt. Dies wird in der Regel bei Anlagengrößen über 100 kW gesehen.

Wenn eine einzelne Transformatorstation benötigt wird, wird eine kompakte Transformatorstation empfohlen. Diese sind in verschiedenen Standardgrößen erhältlich, gehören zu den häufig

eingesetzten Transformatorstationen und sind i.d.R. mit kurzen Lieferzeiten verfügbar. Stationen können vorgefertigt bestellt werden, sodass Installationsaufwand und -kosten gesenkt werden.

Der Einsatz von verlustarmen Transformatoren reduziert den Nachtverbrauch einer Transformatorstation auf unter 0,4 % der Jahresproduktion, wobei die Kurzschlussverluste der Transformatoren bei Vollast ähnlich geringe Auswirkungen haben. Im Mittelspannungsraum der Transformatorstation können bei Transformatoren dieser Größenordnung Abgangsfelder mit HH-Sicherungen anstelle von teuren Leistungsschaltern verwendet werden. Alle langen Kabelwege werden verlustarm auf Mittelspannungsniveau überbrückt.

#### 2.2.4 Netzverwaltung

Die Anforderungen von Netzlieferanten sind vor Kurzem in mehreren Ländern erweitert worden. Bei Anlagengrößen über 100 kW ist es jetzt üblich, dass eine Anforderung besteht, den Netzlieferanten die Ausgangsleistung steuern zu lassen. Die Anforderungen des BDEW<sup>3</sup> müssen berücksichtigt werden. Hierzu gehören:

- Anpassung Leistungspegel
- Frequenzleistungsminderung
- Blindleistung
- Ride Through

### 2.3 Umgebungsaspekte

Das geringe Gewicht und die kleinen Abmessungen der Strangwechselrichter erlauben einfache Aufstellung der Geräte an einem bereits vorhandenen Platz im/am Gebäude.

String-Wechselrichter mit Schutzart IP54 sind zur Installation im Außenbereich geeignet und es kann auf eine Umhausung der Wechselrichter verzichtet werden, wenn diese im Schatten angebracht sind. Sie können jedoch auch im Gebäude eingebaut werden, sofern dies in einem gut belüfteten Raum erfolgt. Falls sich die Anlage in einer Höhe über 1000 m befindet, müssen zusätzliche Aspekte im Hinblick auf den Auslegungsfaktor berücksichtigt werden, um den geringeren Kühleffekt durch dünnere Luft auszugleichen.

### 2.4 Datenkommunikation

Zum Monitoring großer PV-Anlagen können die Messdaten der Wechselrichter mittels Weblogger und Kommunikationsmodem an einen Webportal-Anbieter übertragen und dort gemeinsam mit Daten anderer Anlagen verwaltet und angezeigt werden. Pro Transformatorstation wird ein Weblogger mit Modem benötigt, der in der Station installiert werden kann und alle zugehörigen Wechselrichter erfasst.

Anstelle der Datenübertragung per Modem kann der Weblogger über die Ethernet-Schnittstelle auch direkt mit einem Internetzugang verbunden werden.

Die Spannungsversorgung der Weblogger kann direkt aus der Niederspannungsseite der Transformatorstation erfolgen, da die Geräte nur eine geringe Leistungsaufnahme (<20 W) haben.

---

<sup>3</sup> Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V

Sollte die Spannungsversorgung der Weblogger ausfallen, werden die Daten in den Wechselrichtern für mindestens drei Tage zwischengespeichert.

Die Anbringung der Wechselrichter in der Nähe der Transformatorstation vereinfacht die Installation der Datenkommunikation. Der RS485-Bus wird von einem Wechselrichter zum nächsten verschaltet und das eine Ende der Verschaltung bildet der Weblogger. Die Verkabelung kann mit Standarddatenkabel erfolgen, das direkt an den Schraubsockeln der Kommunikationsplatine verschraubt oder über RJ45-Stecker gesteckt werden kann.

Für jeden Strang bzw. jede Stranggruppe kann Strom und Spannung überwacht werden. Das erlaubt eine Strangüberwachung ohne zusätzliche Mess- und Überwachungseinrichtung. Sogar die Erkennung des Ausfalls eines einzelnen Strangs ist durch die Leistungsüberwachung jedes Wechselrichtereingangs (5 kWp) möglich.

Die Daten werden in 10 Minuten Intervallen aufgezeichnet und im Regelfall regelmäßig an den Webportal-Anbieter übertragen.

Die Datenverkabelung ist in Anhang A 4.1 dargestellt.

### **3 Service und Anlagenverfügbarkeit**

Strangwechselrichter haben den Vorteil, dass sie als Standardprodukt mit hohen Stückzahlen gefertigt werden und kurzfristig verfügbar sind. Im Falle eines Wechselrichterdefekts kann ein Strangwechselrichter durch jeden Elektroinstallateur ohne besondere Fachkenntnisse ausgetauscht werden. Auch ein Wartungsvertrag, wie er bei Zentralwechselrichteranlagen üblich ist, wird hier nicht benötigt. Zum schnellen Austausch können vor Ort einige Wechselrichter gelagert werden.

Sollte ein Strangwechselrichter ausfallen, ist nur ein sehr kleiner Teil der gesamten PV-Anlage betroffen.

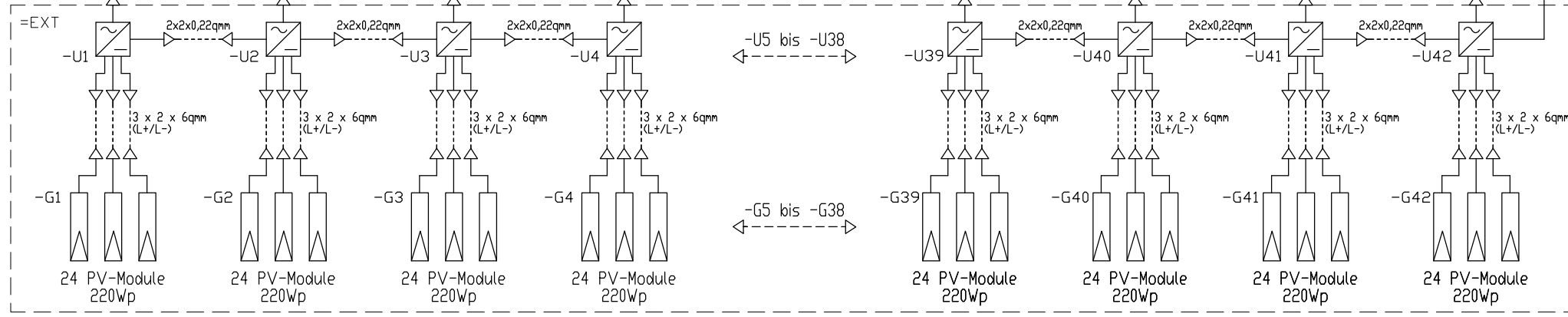
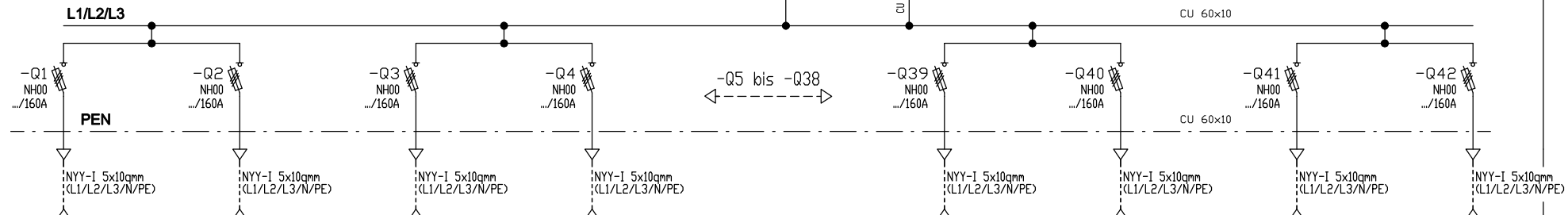
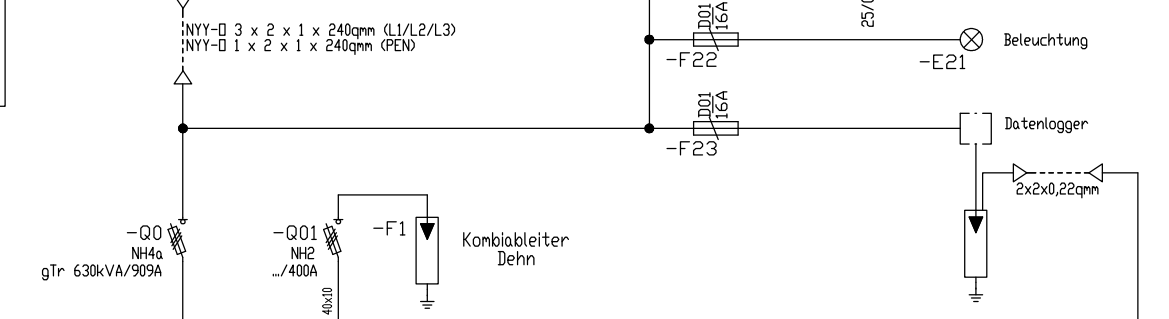
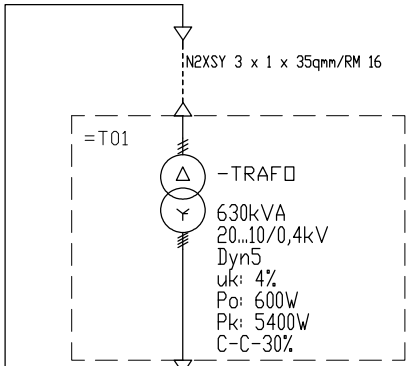
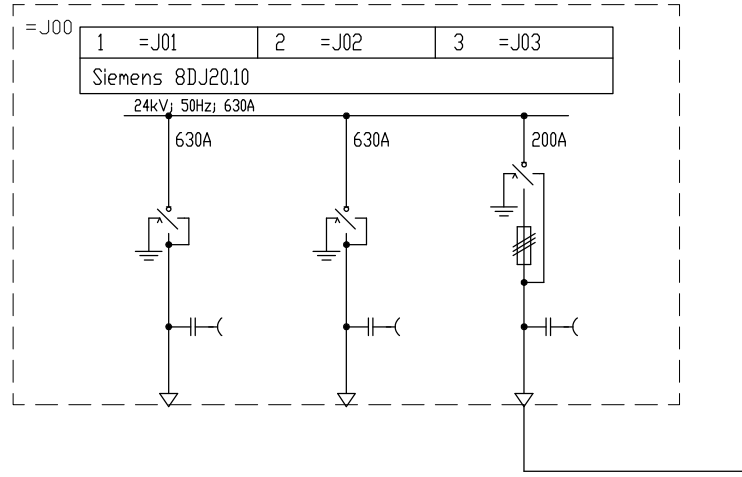
Auch für große PV-Freiflächenparks gilt die fünfjährige Wechselrichtergarantie, die auf 10 Jahre erweitert werden kann.

Durch die intuitive Bedienoberfläche am Wechselrichter wird die Fehlersuche für den Installateur oder den Anlagenverantwortlichen vor Ort erheblich erleichtert.

## **4 Anhang A – Schaltpläne**

### **4.1 Aufbauplan Niederspannungsverteilung**

Zeichnung der GRÄPER GmbH & Co.KG



Schutzvermerk nach ISO 16016 beachten!

CAE - escad AERO III (Build 12.00.xxx)  
Projekt: DANFOSS-SOLAR\_082545  
Druck: 17.12.08 12:40:41

Datum 09.12.08		<b>GRÄPER</b>	Beton- und Energietechnik Heinrich Gräper GmbH & Co. KG Ida Gräper Weg 26197 Großenkneten - Ahlhorn		Übersichtschaltplan Niederspannungsverteilung in 20kV-Trafostation		Projektbezeichnung: Danfoss Solar Inverters A / S - "PV-Kraftwerk"		= N01	
Erstellt K. Freese			Geprüft M. Coldewey		Auftragsnummer: PR-082545		Zeichnungsnummer: 08/2.186-EA01		Seite 11 + von 2 Bl.	
Zust.	Anderung	Datum	Name	Norm	Urspr.:	Ers.f.:	Ers.d.:			



## **Danfoss Solar Inverters A/S**

Jyllandsgade 28  
DK-6400 Sønderborg  
Denmark  
Tel: +45 7488 1300  
Fax: +45 7488 1301  
E-mail: [solar-inverters@danfoss.com](mailto:solar-inverters@danfoss.com)  
[www.solar-inverters.danfoss.com](http://www.solar-inverters.danfoss.com)

---

Danfoss can accept no responsibility for possible errors in catalogues, brochures and other printed material. Danfoss reserves the right to alter its products without notice. This also applies to products already on order provided that such alterations can be made without subsequential changes being necessary in specifications already agreed.  
All trademarks in this material are property of the respective companies. Danfoss and the Danfoss logotype are trademarks of Danfoss A/S. All rights reserved.

---

L00410542\_01-03 Rev. date 2010-01-29