

Concept Paper

String-Wechselrichter für PV-Kraftwerke

Kristalline Module

Mai 2009

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	2
2	Optimierter Anlagenaufbau	4
2.1	Quadratische Modulfelder	4
2.2	Alternative Modulfeld-Layouts	5
2.3	Kompakte Transformatorstation	6
2.4	Modulverschaltung	7
2.5	Datenkommunikation	8
3	Service und Anlagenverfügbarkeit	8
4	Anhang A – Schaltpläne.....	9
4.1	Übersichtsplan 665 kWp Modulfeld.....	9
4.2	Übersichtsplan 10 MWp PV-Park	9
4.3	Aufbauplan Niederspannungsverteilung	9

Concept Paper – String-Wechselrichter für PV Kraftwerke

1 Einführung

Dieses Concept Paper soll Ihnen neue Möglichkeiten bei der Verwendung von String-Wechselrichtern in Photovoltaikkraftwerken aufzeigen.

Allgemein bekannt ist, dass eine Verbindung zwischen der Wechselrichtergröße und den spezifischen Wechselrichterkosten (€/kW) besteht. Daher geht der Trend bei Planung und Bau von Freiflächenkraftwerken dahin, immer größere Wechselrichter einzusetzen. Mittlerweile sind Zentralwechselrichter bis zu einer Leistung zwischen 1 und 2 MW verfügbar. Dieser Trend zu größeren Wechselrichtern treibt jedoch die indirekten Kosten immer weiter in die Höhe.

Der prinzipiell modulare Aufbau von Photovoltaikanlagen (das größte verfügbare Modul ist immer noch kleiner 500W), bedeutet auch dass Photovoltaikanlagen egal welcher Größe modular sind. Daraus ergibt sich, dass beim Aufbau großer Photovoltaikanlagen Alternativen in Frage kommen. Der Einsatz von String-Wechselrichtern passt ideal in das modulare Konzept. Die im String-Wechselrichter standardmäßig integrierten Überwachungsfunktionen machen viele zusätzliche Überwachungseinrichtungen, die bei Zentralwechselrichtern notwendig sind, überflüssig.

Heutzutage sind String-Wechselrichter verfügbar, welche alle Vorteile von Zentralwechselrichtern bieten. Mit einer hohen Systemspannung und dreiphasiger Netzeinspeisung eignen sich diese ideal für den Einsatz in großen Photovoltaikanlagen. 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 Modulen genutzt werden kann. Zudem kann auf Generatoranschlusskästen und zusätzliche Stringüberwachung verzichtet werden, was die Verkabelung erheblich vereinfacht.

Der Einsatz von kompakten Transformatorstationen zum Anschluss der String-Wechselrichter ans Mittelspannungsnetz ermöglicht eine Platzierung von Transformatorstation und Wechselrichter direkt hinter beziehungsweise an einem Modultisch. Darüber hinaus sind Kompaktstationen und String-Wechselrichter einfach zu installieren und haben in der Regel kurze Lieferzeiten.

Für die Installation, Wartung oder den Austausch von String-Wechselrichtern ist kein besonderes Training notwendig. Ein Wartungsvertrag, wie er bei Zentralwechselrichteranlagen üblich ist, wird nicht benötigt. Es entfällt auch die Wartung der Generatoranschlusskästen.

Dieses Concept Paper hebt hervor, weshalb String-Wechselrichter beim Einsatz in großen PV-Anlagen eine interessante Alternative zu Zentralwechselrichtern bieten. Die Studie skizziert ein 10 MWp-Kraftwerk in Mitteleuropa basierend auf 15 identischen quadratischen Einheiten mit je 42 TripleLynx Wechselrichtern an einer 630 kVA Transformatorstation.

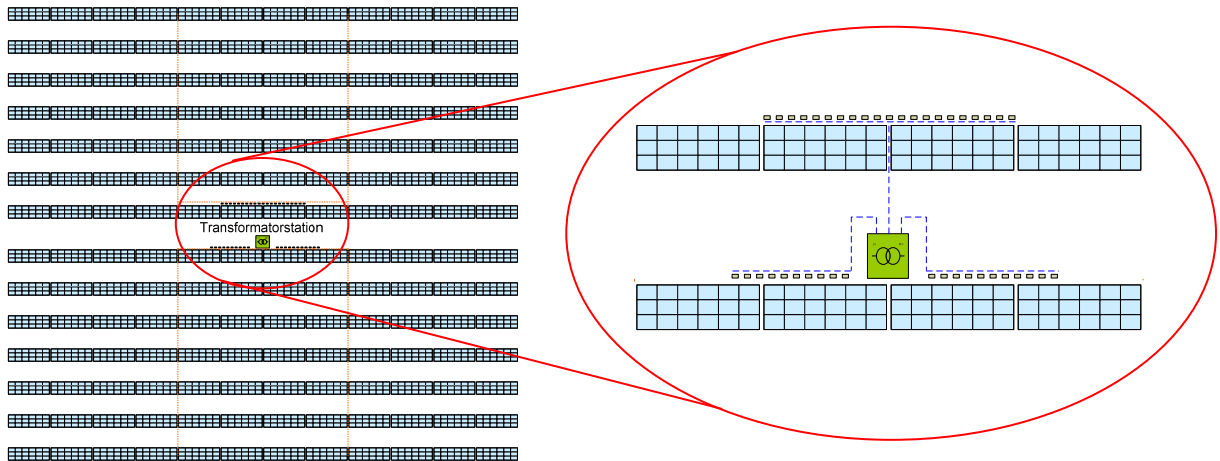


Abbildung 1 Modulfeld Layout

Dieses Beispiel zeigt ein Layout auf einer Fläche von etwa 125m x 125m mit 14 Tischreihen, die jeweils mit 12 Modultischen aufgebaut werden. Auf jedem Modultisch sind 18 Module in 3 Reihen quer montiert.

2 Optimierter Anlagenaufbau

Die Planung einer PV-Freiflächenanlage 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.

2.1 Quadratische Modulfelder

Mit preiswerten kompakten Transformatorstationen, die zentral aufgestellt werden (siehe Abbildung1 Modulfeld Layout), ist eine Minimierung des Kabelaufwandes auf der DC-Seite und der AC-Niederspannungsseite möglich.

Durch den Einsatz von String-Wechselrichtern mit 1000 V maximaler DC-Spannung kann sowohl auf Generatoranschlusskästen wie auch auf eine Vielzahl von Wechselrichterunterverteilungen verzichtet werden. Die Modulstrings werden direkt an die Wechselrichter angeschlossen. Genauso werden die Wechselrichter direkt mit der Transformatorstation verbunden.

An einen 630 kVA Mittelspannungstransformator können in diesem Beispiel bis zu 42 Wechselrichter direkt angeschlossen werden. Für die dazu notwendige Niederspannungsverteilung ist im Niederspannungsraum der Transformatorstation ausreichend Platz.

Daraus ergibt sich ein modular anwendbares und einfach umsetzbares Design von 665 kWp Einheiten, die auch in größerer Anzahl kostengünstig errichtet werden können.

Die Verkabelung ist in Anhang A 4 dargestellt.

Nachfolgend sind einige Details genauer beschrieben:

2.1.1 Vorteile DC-Seite

Die hohe maximale DC-Spannung der Wechselrichter erlaubt (bei 220 Wp Modulen mit 60 Zellen pro Modul) eine Stringleistung von 5,28 kWp. Die entsprechend geringere Stringanzahl im Verhältnis zur Gesamtanlagenleistung reduziert den DC-seitigen Kabel- und Installationsaufwand.

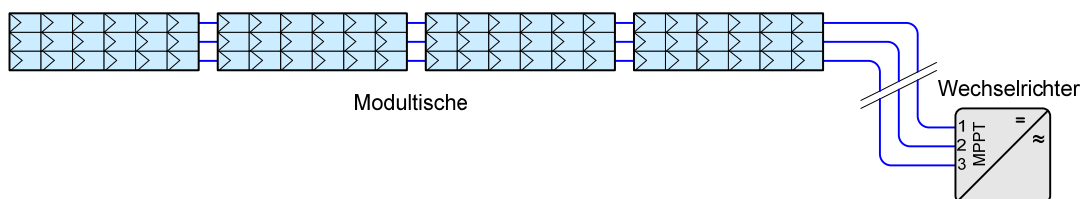


Abbildung 2 Modulverkabelung basierend auf Kristallinmodulen
Jede Modulreihe ist direkt an einen eigenen MPP Tracker Verschalten .

Die Stringspannung bei NOCT liegt deutlich oberhalb von 600 Vdc. In diesem Spannungsbereich arbeiten die Wechselrichter mit bestmöglicher Effizienz und die DC-Leitungsverluste reduzieren sich deutlich.

Das individuelle MPP-Tracking für jeden String (oder jede Stringgruppe beim Einsatz von Modulen mit geringerem MPP-Strom) ermöglicht den maximalen Energieertrag pro String. Werden die drei Modulreihen pro Tisch jeweils an einen eigenen MPP-Tracker geschaltet, führt das auch zu einer Minimierung von Verschattungsverlusten. Die teilweise oder vollständige Verschattung der unteren Modulreihe hat dann keinen nachteiligen Einfluss auf das MPP-Tracking der oberen Reihen. Somit trägt jeder String bzw. jede Stringgruppe das Maximum zum Gesamtenergieertrag bei.

2.1.2 Vorteile AC-Seite

String-Wechselrichter mit Schutzart IP54 sind zur Installation im Außenbereich geeignet und es kann auf eine Umhausung der Wechselrichter verzichtet werden wenn diese an der Rückseite der Modultische angebracht sind. Das geringe Gewicht und die kleinen Abmessungen der Wechselrichter erlauben eine Anbringung der Geräte an der Modultischkonstruktion. Die Wechselrichterinstallation erfolgt in unmittelbarer Nähe zur Transformatorstation, dadurch reduziert sich der Aufwand für die niederspannungsseitige AC-Verkabelung auf ein Minimum, wodurch die Mindererträge durch AC-Leitungsverluste bis zur Transformatorstation nicht mehr nennenswert sind.

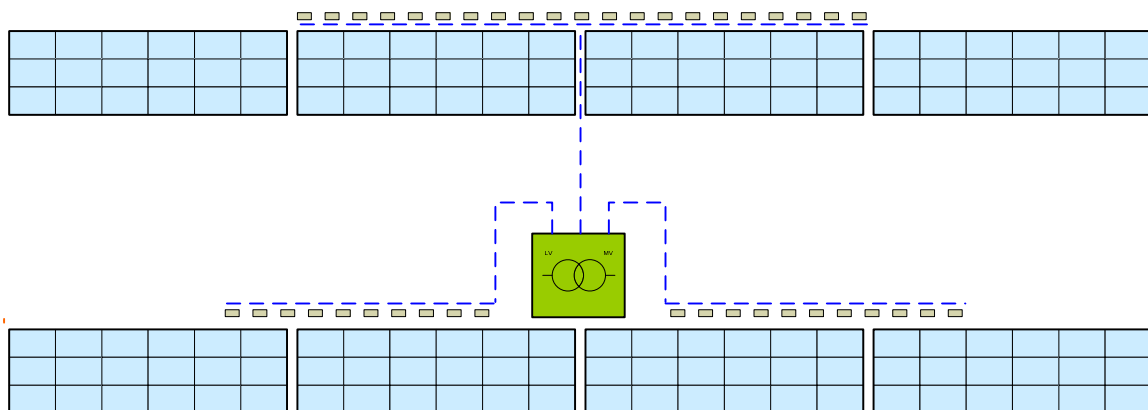


Abbildung 3 Platzierung der Wechselrichter

Die Wechselrichter sind, nahe der Transformatorstation, an der Rückseite der Modultische montiert.

Die Niederspannungsverteilung für alle anschließbaren Wechselrichter passt in den Niederspannungsraum der Transformatorstation und kann, in der Transformatorstation vorinstalliert, auf die Baustelle geliefert werden.

Siehe Anhang A 4.3.

2.2 Alternative Modulfeld-Layouts

Bisher haben wir ein quadratisches Layout betrachtet. Da dies nicht immer zu den örtlichen Gegebenheiten passt, kann das Layout auch zu einem Rechteck abgewandelt werden, dass beispielsweise mit 21 Reihen aufgebaut ist und nur 8 Modultische pro Reihe beinhaltet.

Es ist auch möglich, von der zentralen Anbringung der Wechselrichter abzuweichen und diese im Modulfeld zu verteilen. Hier ist die optimale Lösung abhängig von den Kosten für die DC- und AC-Verkabelung sowie für die Wechselrichterunterverteilungen im Verhältnis zu den Mindererträgen durch Leitungsverluste bis zur Transformatorstation.

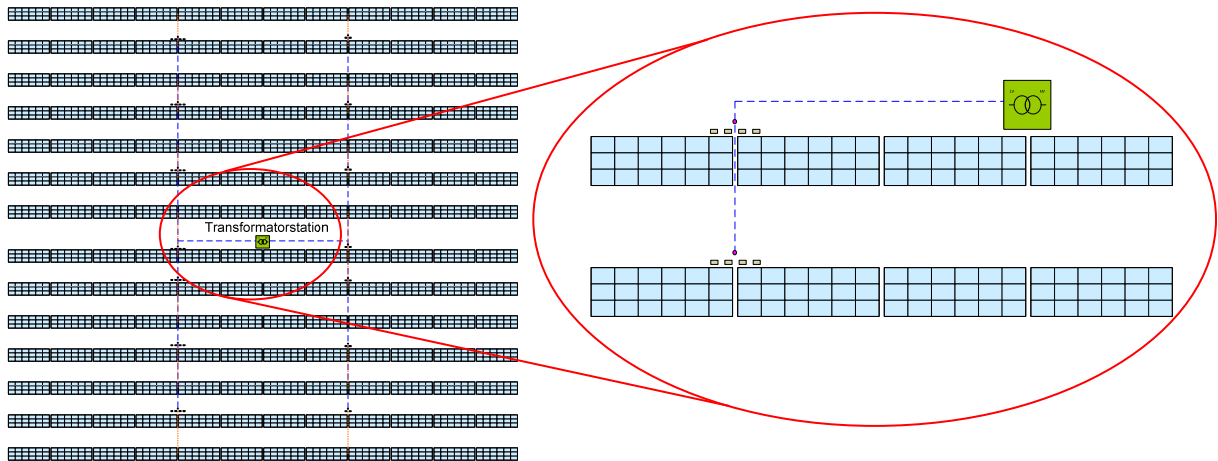


Abbildung 4 Modulfeld Layout mit Wechselrichtern verteilt im Feld

Dieses Beispiel ist identisch mit Abbildung 1 bezüglich der Anbringung der Module jedoch mit dem Unterschied, dass die Wechselrichter in der Nähe der Module angebracht sind. Jeder Wechselrichter ist auf der AC Seite an eine Wechselrichterunterverteilung angeschlossen, welche mit der Transformatorstation verkabelt ist.

2.3 Kompakte Transformatorstation

Kompaktstationen werden genau wie 630 kVA Transformatoren häufig eingesetzt und sind i.d.R. mit kurzen Lieferzeiten verfügbar. Die kompakten Abmessungen und das geringe Gewicht der Transformatorstationen erlaubt die gleichzeitige Anlieferung von zwei Stationen pro Transport und den Einsatz von kleineren günstigen Autokränen zur Aufstellung der Stationen. Durch die geringe Bauhöhe der Transformatorstationen über Erdniveau ist es möglich, diese direkt hinter einem Modultisch zu platzieren.

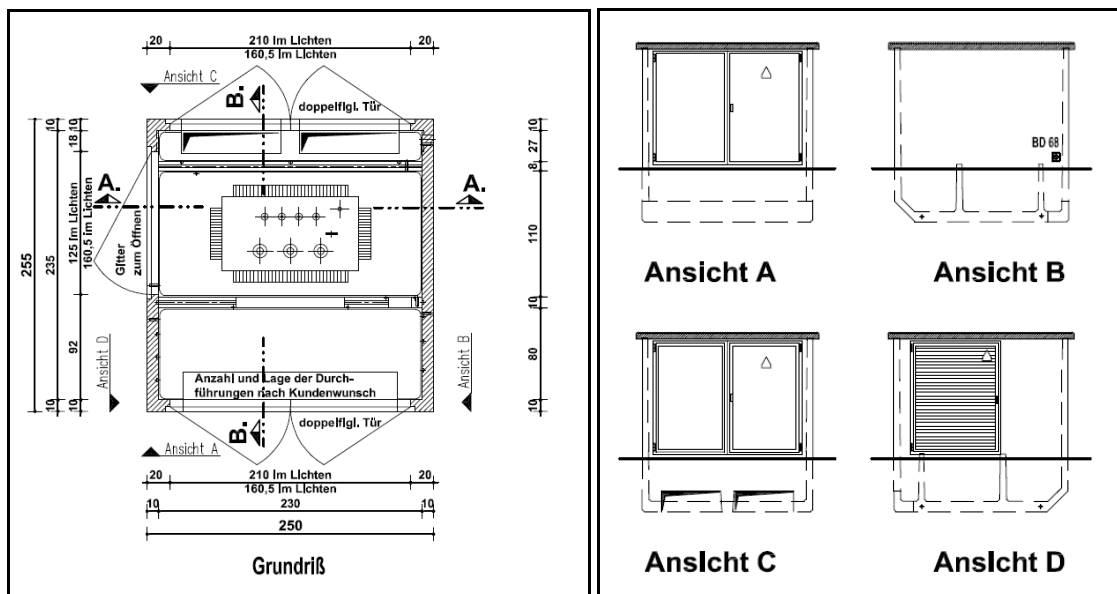


Abbildung 5 Transformatorstation

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.

2.4 Modulverschaltung

Um die oben genannten Vorteile zu erreichen, schlagen wir eine Modulmontage und -verschaltung vor, die für das String-Wechselrichterkonzept optimiert ist.

Zur Reduzierung der Verluste durch Verschattung empfehlen wir eine Montage der Module im Querformat. Für unser Beispiel haben wir eine dreireihige Variante gewählt. Die Stringverschaltung erfolgt innerhalb einer Modulreihe, so dass unterschiedliche Einstrahlungsbedingungen und Modultemperaturverhältnisse durch das individuelle MPP-Tracking berücksichtigt werden.

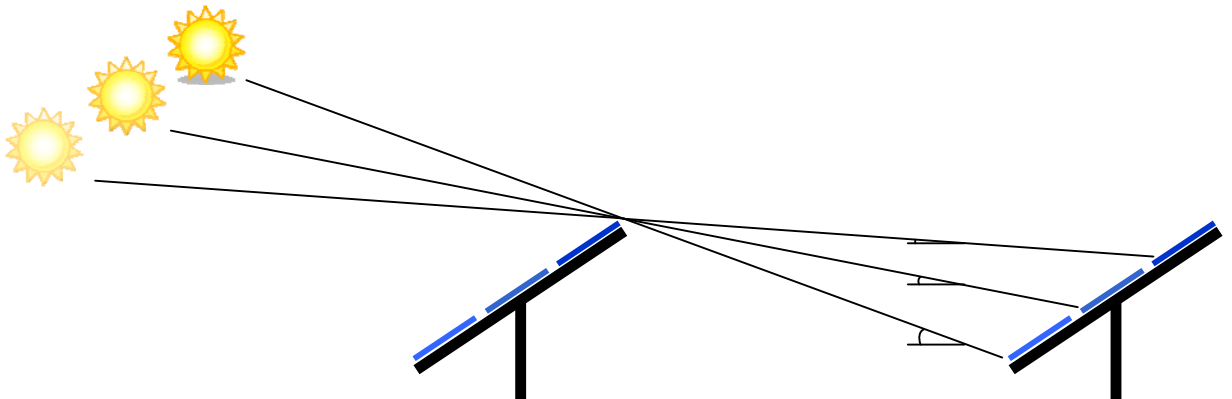


Abbildung 6 Verschattung von Modulen

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

Bei stärkerer Einstrahlung im Winterhalbjahr außerhalb der Mittagszeit ist die untere Reihe häufig verschattet. Das dadurch entstehende unterschiedliche Temperaturniveau der Modulreihen führt zu unterschiedlichen MPP-Spannungen. Dieser Effekt kann auch an windstillen einstrahlungsstarken Sommertagen auftreten, wenn hinter der oberen Modulreihe die bereits durch die unteren Reihen vorgewärmte Luft entlang strömt. Im Vergleich zu einem zentralen MPP-Tracking wird hier durch das individuelle MPP-Tracking für jede Reihe ein höherer Ertrag erreicht.

Das Layout mit ca. 5,3 kWp pro Wechselrichtereingang oder insgesamt 15,9 kWp pro Wechselrichter ergibt eine Überdimensionierung des PV-Generators gegenüber der maximalen Wechselrichterausgangsleistung mit dem Faktor 1,06. Das entspricht der Empfehlung von Dr. Bruno Berger¹ für PV-Freiflächenanlagen mit hocheffizienten Wechselrichtern in Mitteleuropa. Mit folgenden Modulverschaltungen kann die maximale Leerlaufspannung von 1000V bestmöglich genutzt werden:

Bei mono- oder polykristallinen Standardsolarmodulen mit 156 x 156 mm Solarzellen sind neben Modulen mit 60 Zellen auch Module mit 48 Zellen auf den oben beschriebenen Modultischen einsetzbar:

- 1 String mit 24 Modulen (220 Wp mit 60 Zellen), 3 Strings pro Wechselrichter
- 1 String mit 30 Modulen (175 Wp mit 48 Zellen), 3 Strings pro Wechselrichter

¹ Inverter sizing for grid connected PV plants, 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-vonwechselrichtern-fur-netzgekoppelte-pv-anlagen/at_download/file

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.

2.5 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. 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 String bzw. jede Stringgruppe kann Strom und Spannung überwacht werden. Das erlaubt eine Stringüberwachung ohne zusätzliche Mess- und Überwachungseinrichtung. Sogar die Erkennung des Ausfalls eines Strings (720 Wp) in einer Stringgruppe mit 7 oder 8 Strings ist durch die Leistungsüberwachung jedes Wechselrichtereingangs (5kWp) 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

String-Wechselrichter haben den Vorteil, dass sie als Standardprodukt mit hohen Stückzahlen gefertigt werden und kurzfristig verfügbar sind. Im Falle eines Wechselrichterdefekts kann ein String-Wechselrichter 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 String-Wechselrichter ausfallen, ist nur ein sehr kleiner Teil der gesamten PV-Anlage betroffen. Für eine PV-Anlage mit 10 MWp bedeutet das, dass mehr als sechs Wechselrichter ausfallen müssen, bevor 1% der Energieproduktion verloren geht.

Die höhere Anzahl an kleineren Transformatorstationen bedeutet einen Mehraufwand für die Wartung auf der Mittelspannungsseite, andererseits entfällt die aufwändige Wartung der DC-Anschlussboxen und ein Austausch gebrochener Stringsicherungen kann ausgeschlossen werden.

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 Übersichtsplan 665 kWp Modulfeld

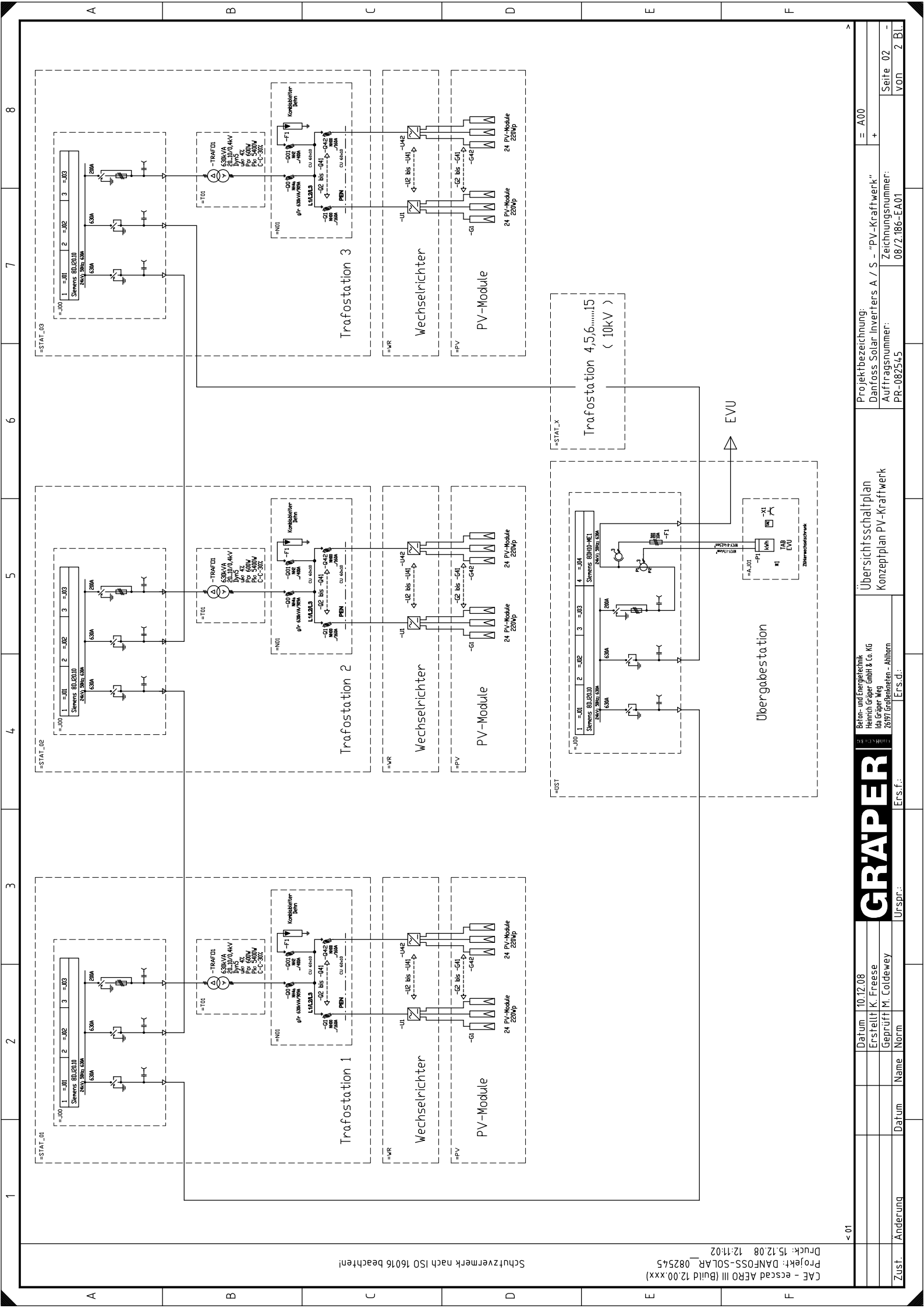
Übersichtsschaltplan Niederspannungsverteilung erstellt durch die GRÄPER GmbH & Co.KG

4.2 Übersichtsplan 10 MWp PV-Park

Konzeptplan PV-Kraftwerk erstellt durch die GRÄPER GmbH & Co.KG

4.3 Aufbauplan Niederspannungsverteilung

Zeichnung der GRÄPER GmbH & Co.KG

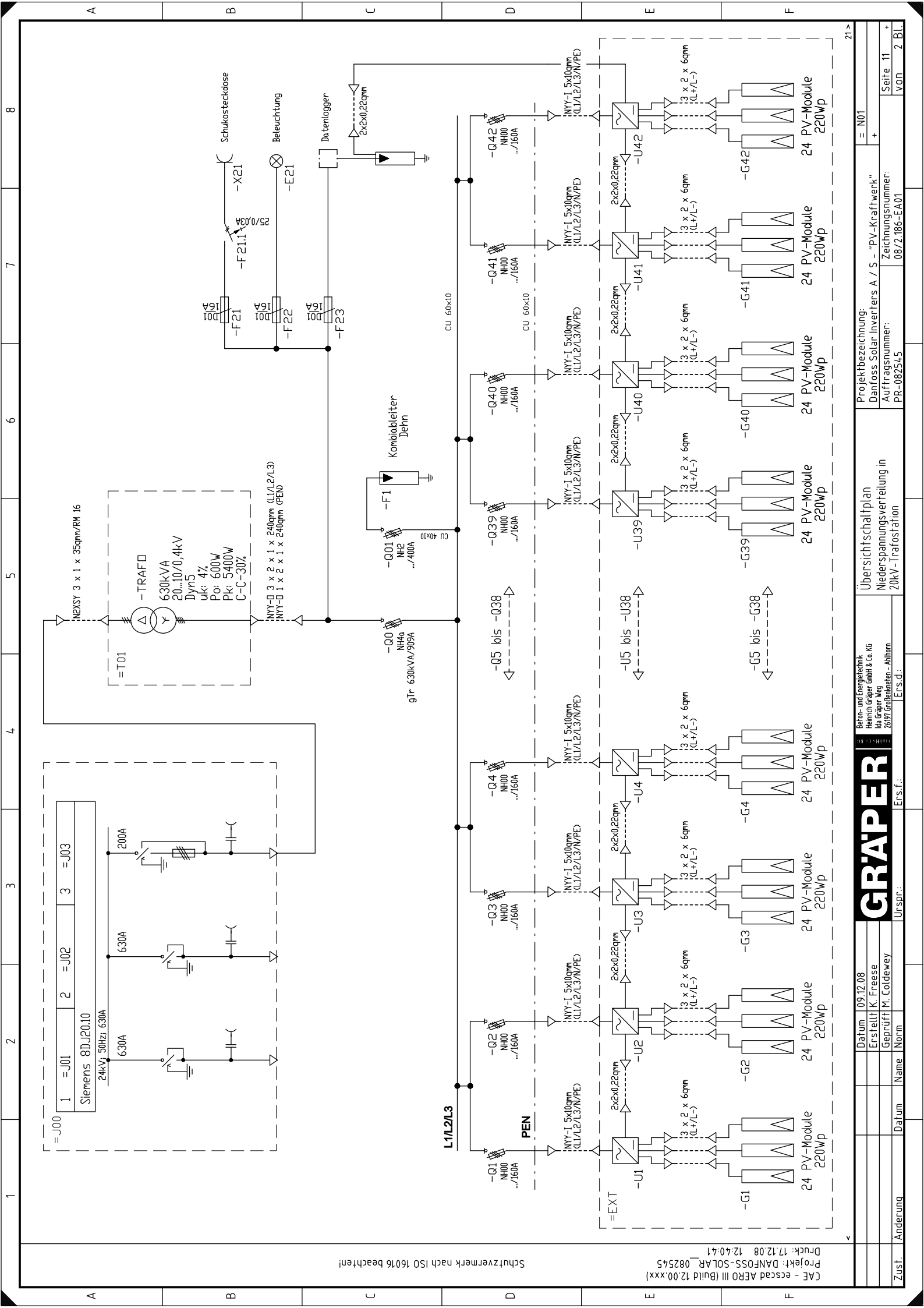


Schutzvermerk nach ISO 16016 beachten!

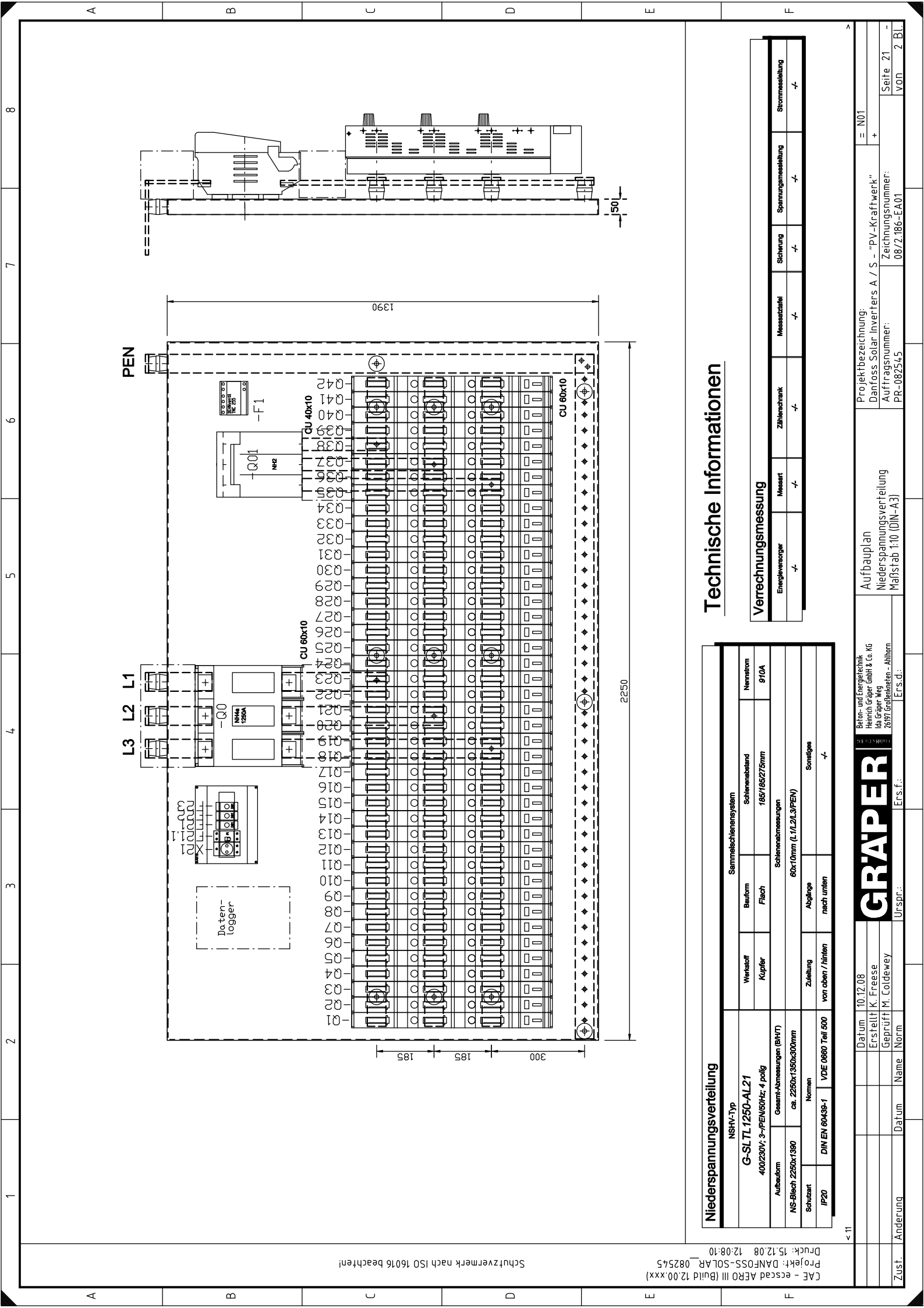
CAE - eccad AERO III (Build 12.00.xxx)
 Projekt: DANFOSS-SOLAR_082545
 Druck: 15.12.08 12:11:02

< 01

Änderung	Datum	Name	Norm	Ur-spr.:	Ers.f.:	Übersichtsschaltplan Konzeptplan PV-Kraftwerk		Projektbezeichnung: Danfoss Solar Inverters A / S - "PV-Kraftwerk"		= A00 +	
Zust.	Datum	Name	Norm	Ers.f.:		Auftragsnummer: PR-082545		Zeichnungsnummer: 08/Z.186-EA01		Seite 02 von 2 Bl.	



Änderung		Urspr.:		Ers.f.:		Übersichtsschaltplan Niederspannungsverteilung in 20kV-Trafostation		Projektbezeichnung: Danfoss Solar Inverters A / S - "PV-Kraftwerk"		Zeichnungsnummer: 08/2.186-EA01	
Zust.	Datum	Name	Norm	Datum	09.12.08	Datum	09.12.08	= N01			
		Erstellt	K. Freese			Beton- und Energietechnik Friedrich Gräper GmbH & Co. KG Liljebrägen-Weg 28197 Langenfelten - Althorn		+			
		Geprüft	M. Coldewey			Ers.f.:		Auftragsnummer: PR-082545			
						Ers.f.:		Seite 11 von 2 Bl.			



CAE - eccad AERO III (Build 12.00.xxx)
 Projekt: DANFOSS-SOLAR_082545
 Druck: 15.12.08 12:08:10
 Schutzvermerk nach ISO 16016 beachten!

Niederspannungsverteilung

NSHV-Typ		Sammelschiensystem	
G-SL TL 1250-AL21		Schienselbst	
400/230V; 3-/PEN/50Hz; 4 polig		165/165/275mm	
Aufbauform	Werkstoff	Bauform	Nennstrom
NS-Blech 2250x1390	Kupfer	Flach	910A
Schutzart	Gesamt-Abmessungen (BxHxT)	Schienselbstmessungen	
IP20	ca. 2250x1390x300mm	60x10mm (L1/L2/L3/PEN)	
	Normen	Zuleitung	Sonstiges
	DIN EN 60439-1 VDE 0660 Teil 500	von oben / hinten	nach unten
		Abgänge	

Technische Informationen

Verrechnungsmessung

Energievorgang	Messart	Zähltechnik	Messzeitpunkt	Sicherung	Spannungsmessung	Strommessung
+	-	-	-	-	-	-

Zust.	Aenderung	Datum	Name	Norm	Geprüft	Erstellt	Datum
					M. Coldewey	K. Freese	10.12.08

Beton- und Energietechnik
 Heinrich Gräper GmbH & Co. KG
 10000 Berlin, Gräper-Weg
 28/97 Erdgründen - Althorn

GRÄPER
 Urspr.: Ers.f.:

Aufbauplan
 Niederspannungsverteilung
 Maßstab 1:10 (DIN-A3)

Projektbezeichnung:
 Danfoss Solar Inverters A / S - "PV-Kraftwerk"
 Zeichnungsnummer:
 PR-082545
 Von 2 Bl.

= N01



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
www.solar-inverters.danfoss.de

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.

L00410490-01 Rev. date 2009-05-01