

A photograph of a red SMA Sunny Boy photovoltaic inverter mounted on a metal pole. The inverter has a label that reads 'Sunny Boy' and 'SMA'. In the background, solar panels are visible on a roof against a clear blue sky.

WECHSELRICHTER DER WEG INS NETZ

VWEW-Fachtagung Photovoltaik und Netzintegration
Fulda, 15. November 2005

- 1 Einführung
- 2 Historischer Vergleich der PV-Systemkonzepte
- 3 Entwicklung der String-Wechselrichter
- 4 Ausgeführte Beispiele mit OptiCool™ und H5™-Topologie
- 5 Netzintegration von PV-Anlagen bis 30 kVA
- 6 Netzintegration von PV-Großanlagen
- 7 Ausblick und Zusammenfassung



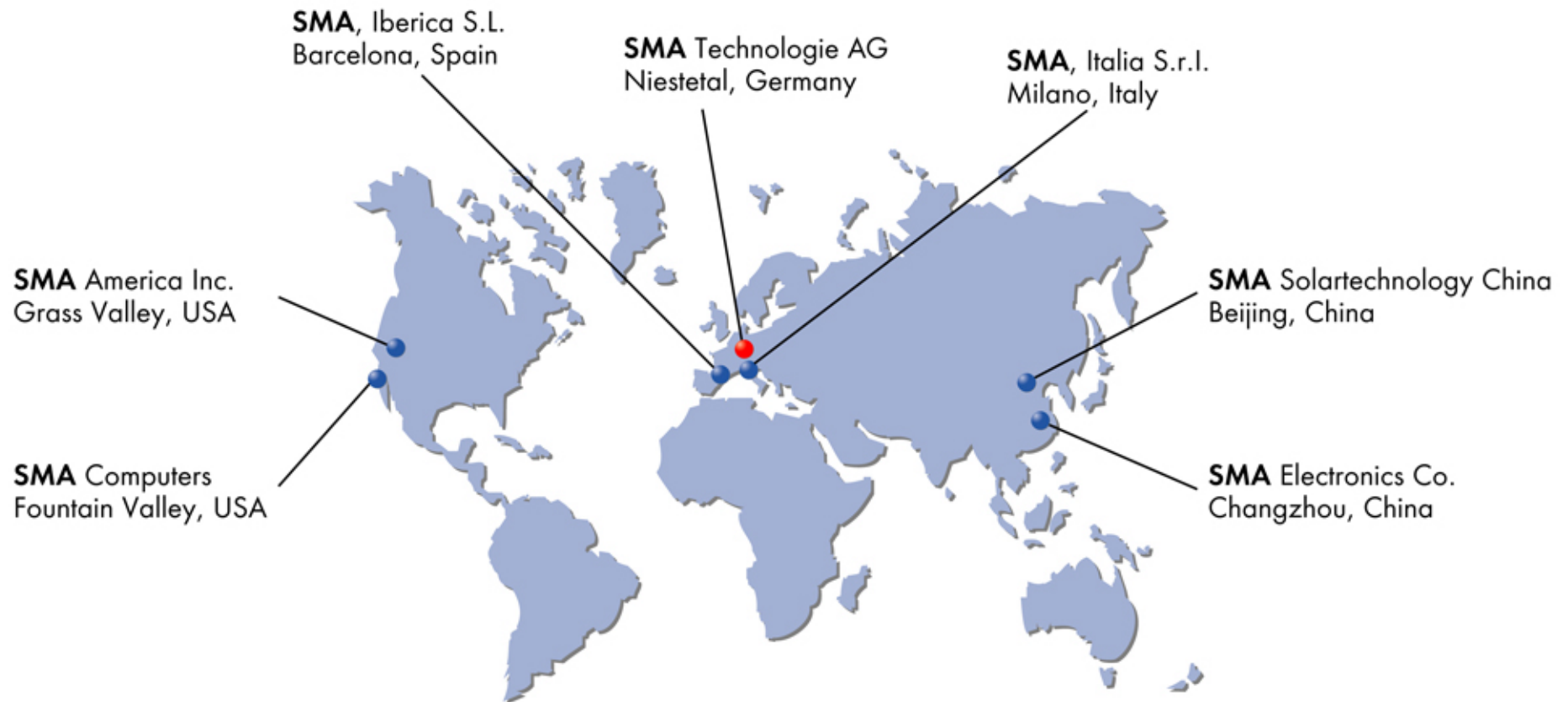
- 1 Einführung
- 2 Historischer Vergleich der PV-Systemkonzepte
- 3 Entwicklung der String-Wechselrichter
- 4 Ausgeführte Beispiele mit Opticool™ und H5-Topologie
- 5 Netzintegration von PV-Anlagen bis 30 kVA
- 6 Netzintegration von PV-Großanlagen
- 7 Ausblick und Zusammenfassung





- Gegründet 1981
- Hauptsitz in Niestetal, Deutschland
- Ca. 1.000 Mitarbeiter/-innen weltweit, davon mehr als 15 % Ingenieur/-innen
- Umsatz 2004: 180 Mio. Euro
- Technologieführer und Trendsetter
- Marktführer mit mehr als 900 MVA_{AC} installierter Wechselrichterleistung





- 1 Einführung
- 2 Historischer Vergleich der PV-Systemkonzepte
- 3 Entwicklung der String-Wechselrichter
- 4 Ausgeführte Beispiele mit Opticool™ und H5-Topologie
- 5 Netzintegration von PV-Anlagen bis 30 kVA
- 6 Netzintegration von PV-Großanlagen
- 7 Ausblick und Zusammenfassung



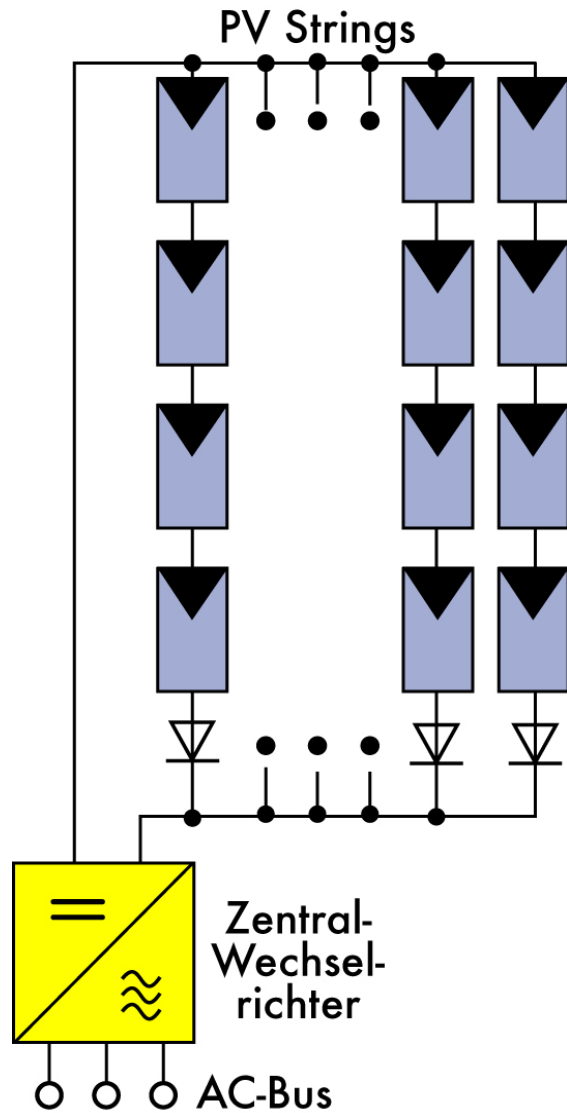
1987



Zentral-WR

Schaltschränke
350 kW





SC 1000MV als 1 MW-Betonstation
mit direkter Einspeisung auf 20 kV

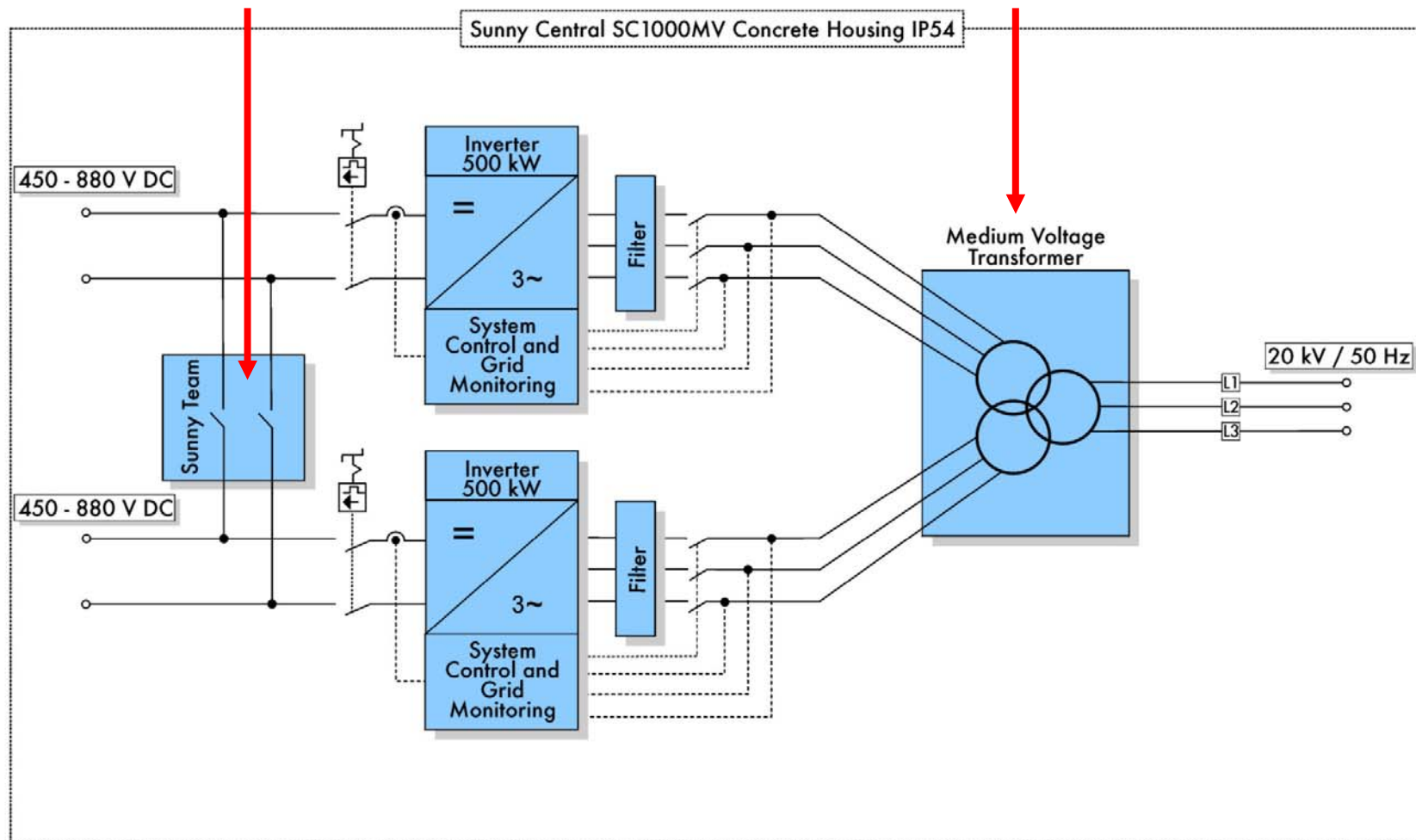


SC 1000MV: Prinzipschaltbild

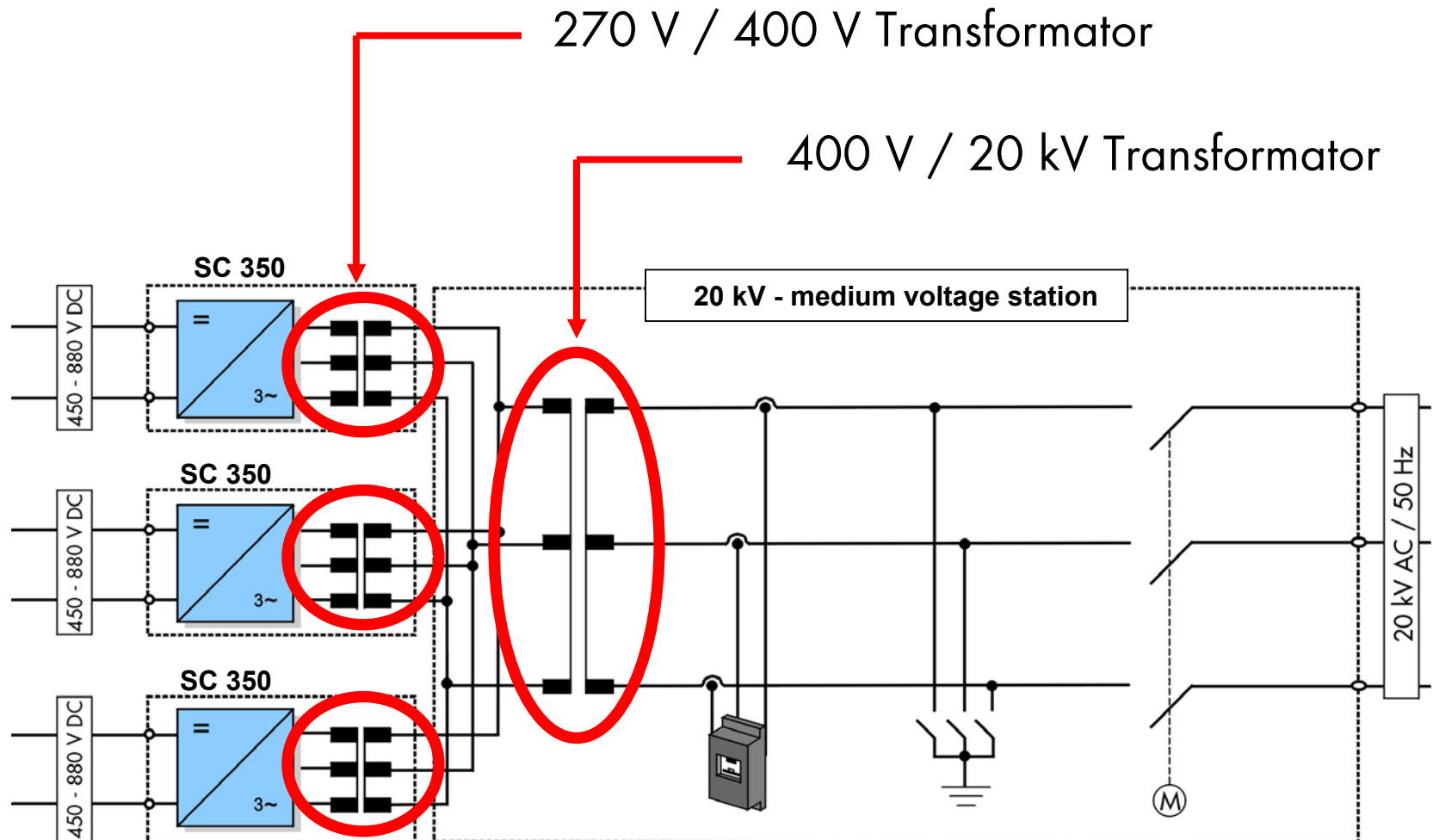


Sunny Team

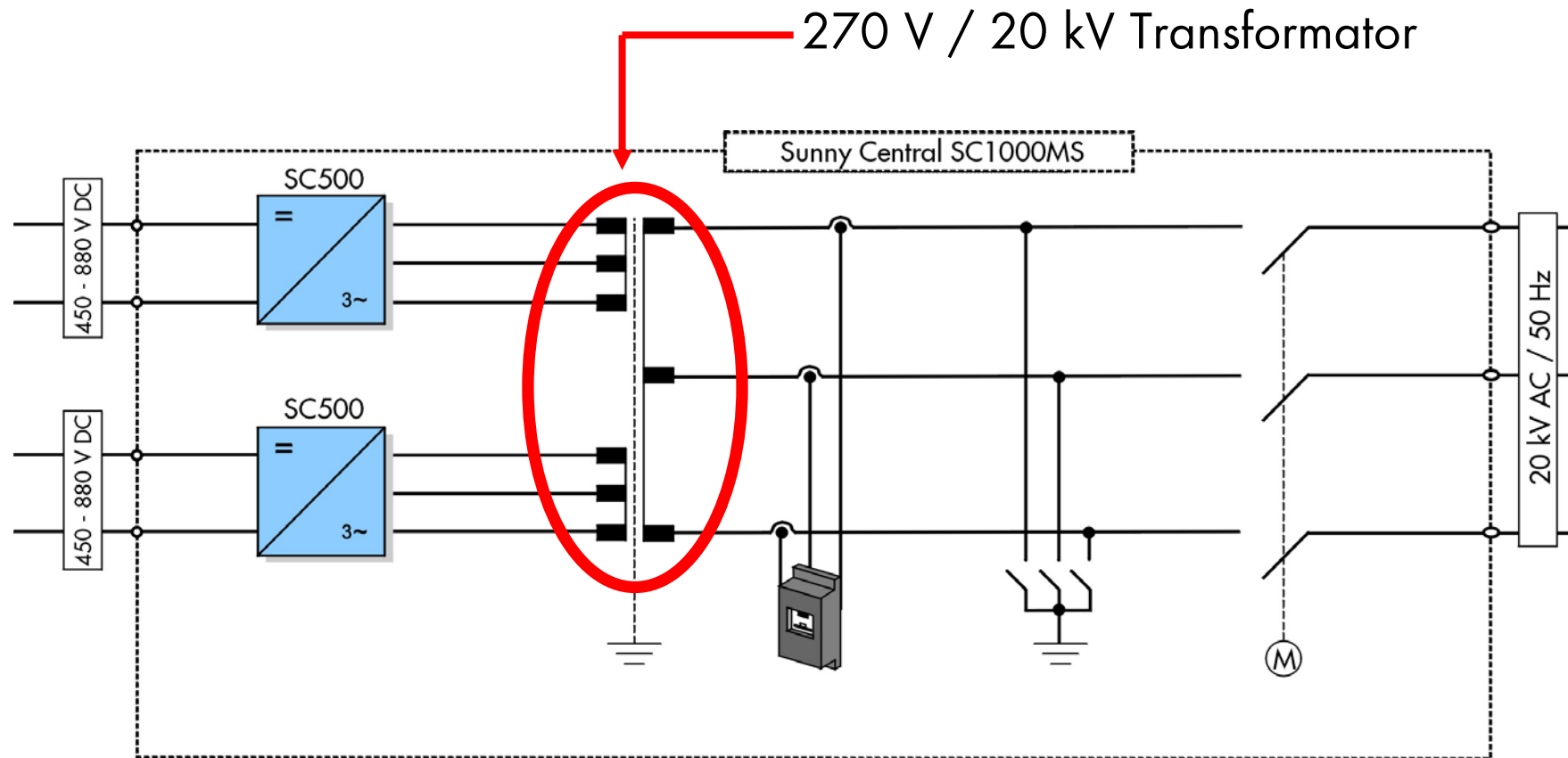
Mittelspannungstransformator



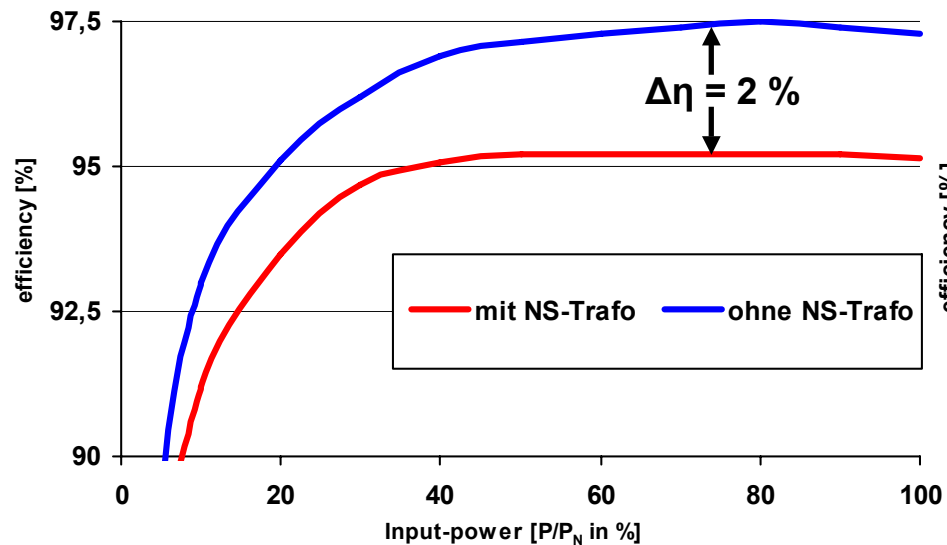
Konventionelle Einspeisung über 400 V-Ebene



SC 1000MV: Direkte Mittelspannungseinspeisung

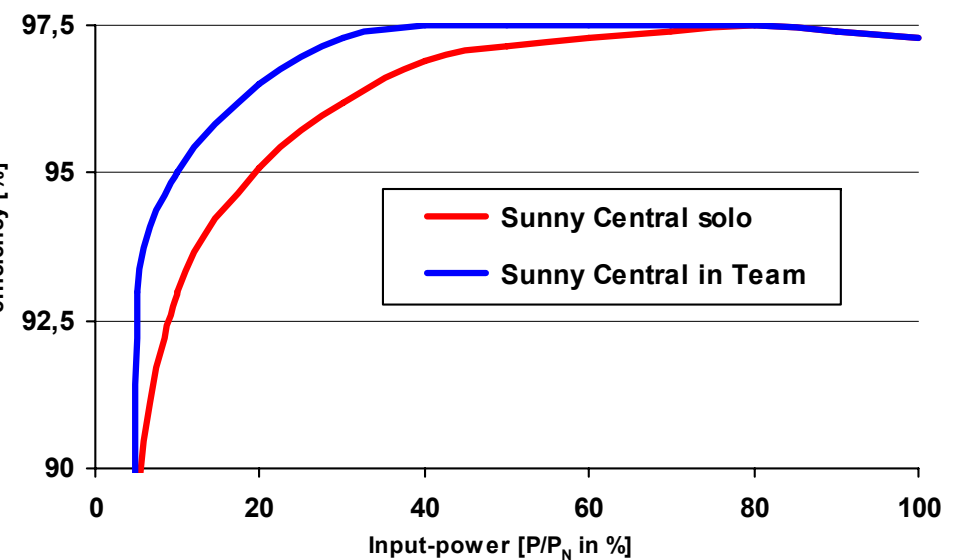


Direkte Einspeisung auf MS



Wirkungsgradgewinn: **1,5 – 2 %**

Sunny Team



Wirkungsgradgewinn: **1 – 2 %**

Max.-Wirkungsgrad: 97,5 %

96,5 % (auf 20 kV-Ebene)

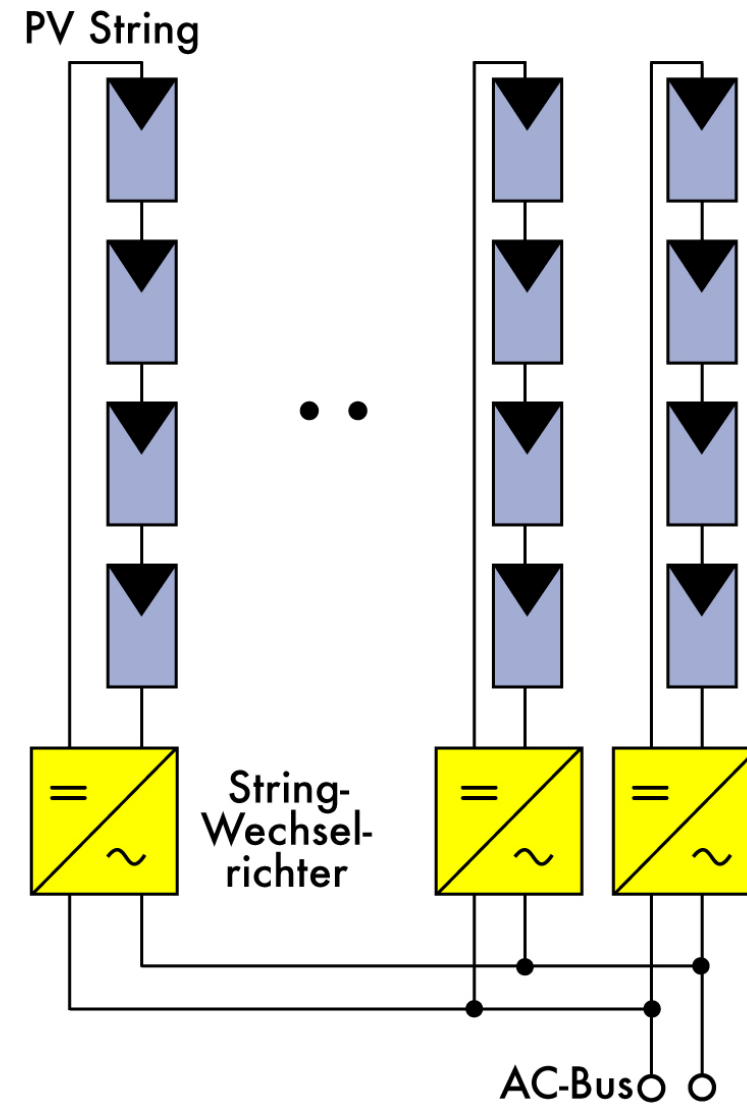
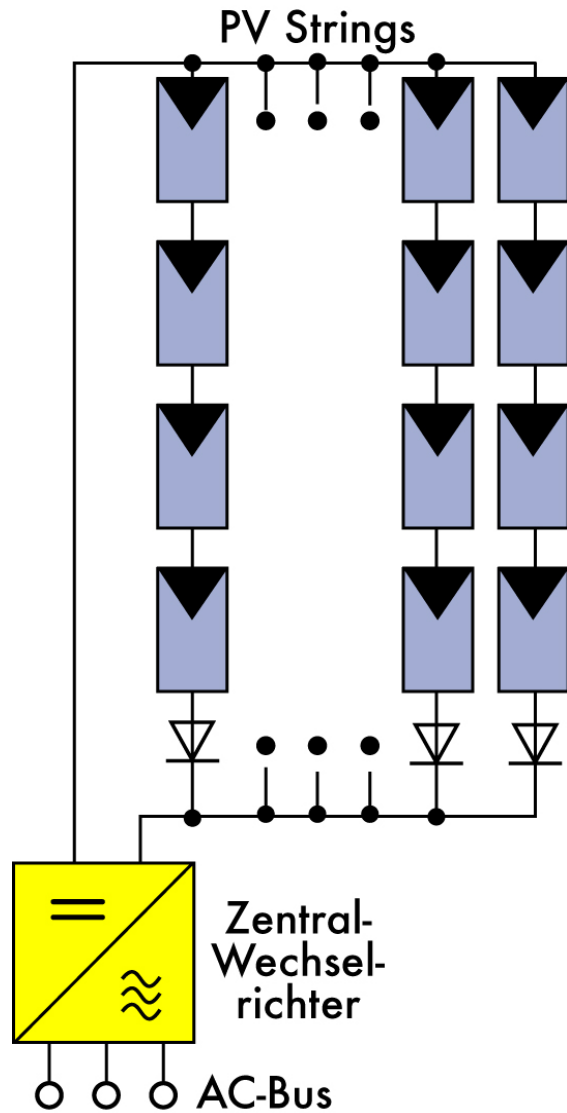
Historische Meilensteine



1987		Zentral-WR	Schaltschränke 350 kW
1990		PV-WR	Erster PV-Wechselrichter konzipiert für die Serienproduktion
1995		Sunny Boy 700	Erster String-Wechselrichter



PV-Systemkonzepte: String-Wechselrichter





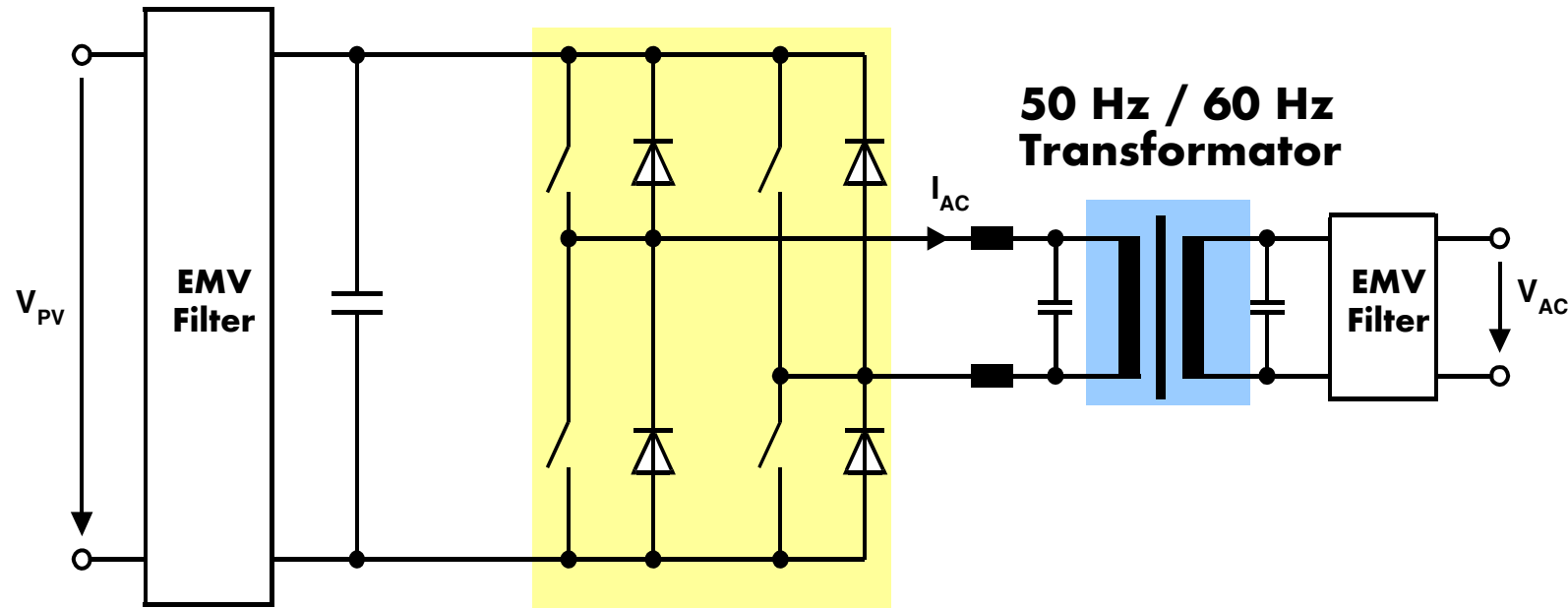
- Keine teure DC-Verkabelung und Verteilung nötig
- In hoher Stückzahl produzierter Wechselrichter
- Wechselrichter mit hohem Wirkungsgrad $\eta > 96\%$ verfügbar
- Höherer Energieertrag durch mehrere MPP-Tracker
- Einfache Planung, Auslegung und Installation



- 1 Einführung
- 2 Historischer Vergleich der PV-Systemkonzepte
- 3 Entwicklung der String-Wechselrichter
- 4 Ausgeführte Beispiele mit Opticool™ und H5-Topologie
- 5 Netzintegration von PV-Anlagen bis 30 kVA
- 6 Netzintegration von PV-Großanlagen
- 7 Ausblick und Zusammenfassung

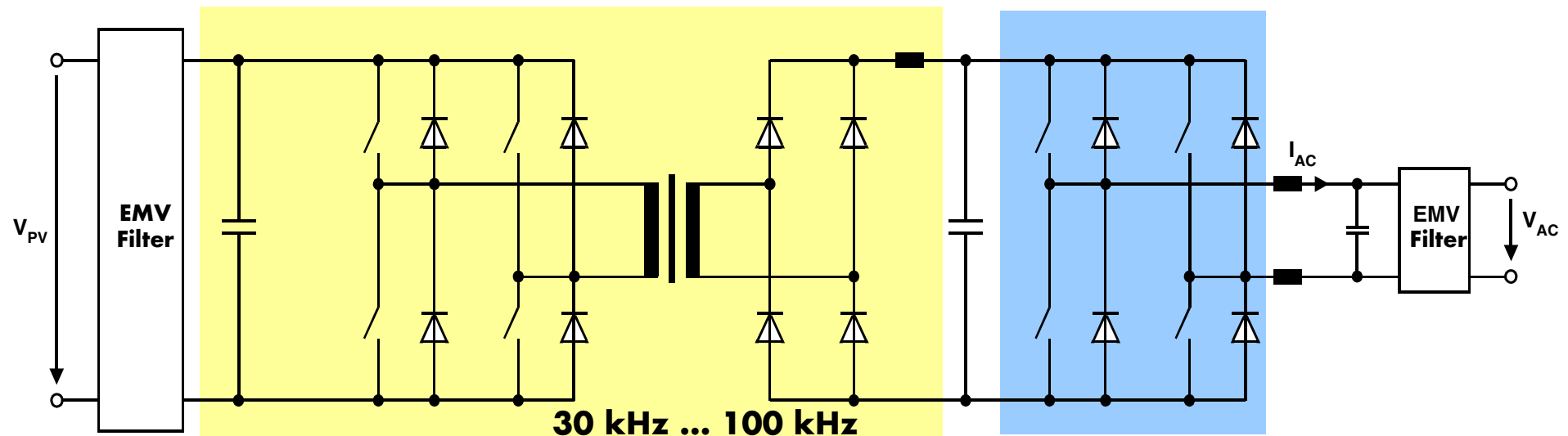


Topologie mit 50 Hz-Transformator

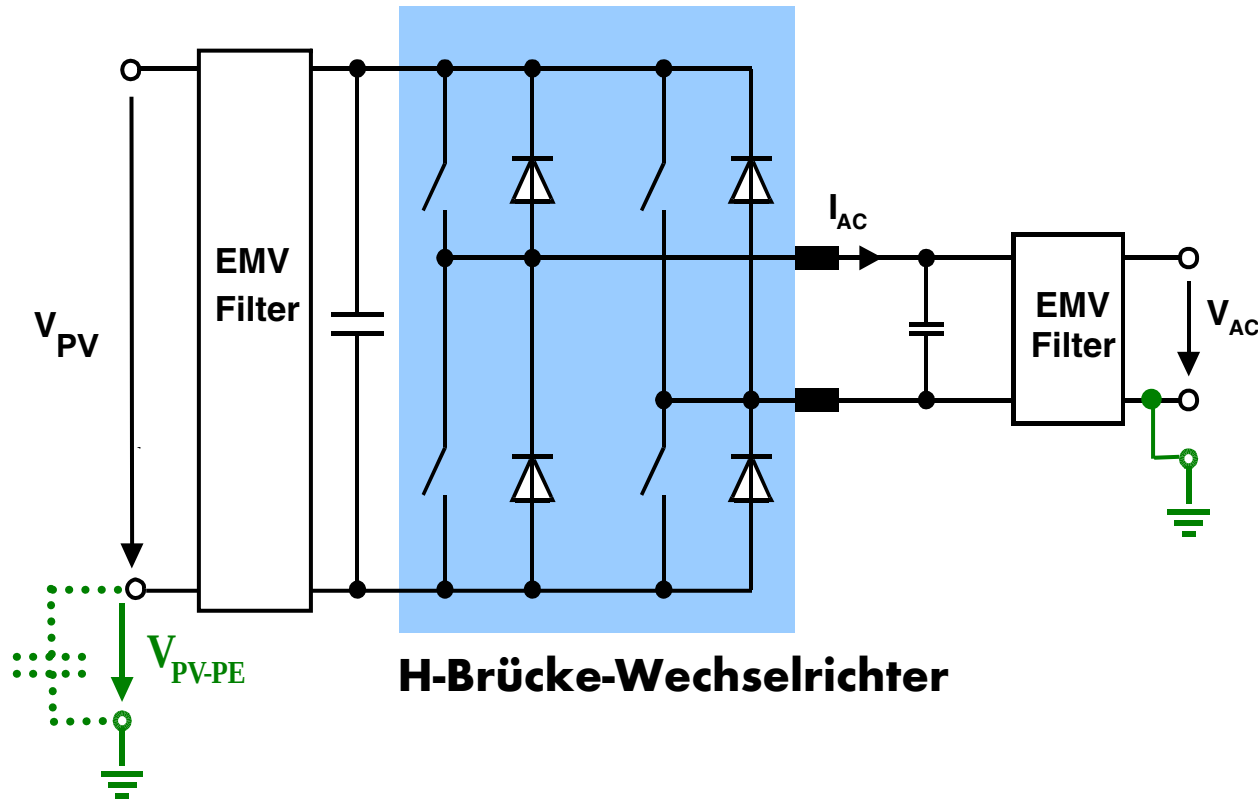


- Vorteile: Sehr zuverlässig, kostengünstig, DC-Stromeinspeisung nicht möglich, Wirkungsgrad bis zu 96 % (für 6 kW Gerät), PV-Generator entweder potentialfrei gegenüber Erde oder geerdet betrieben
- Nachteile: Hohes Gewicht, Größe

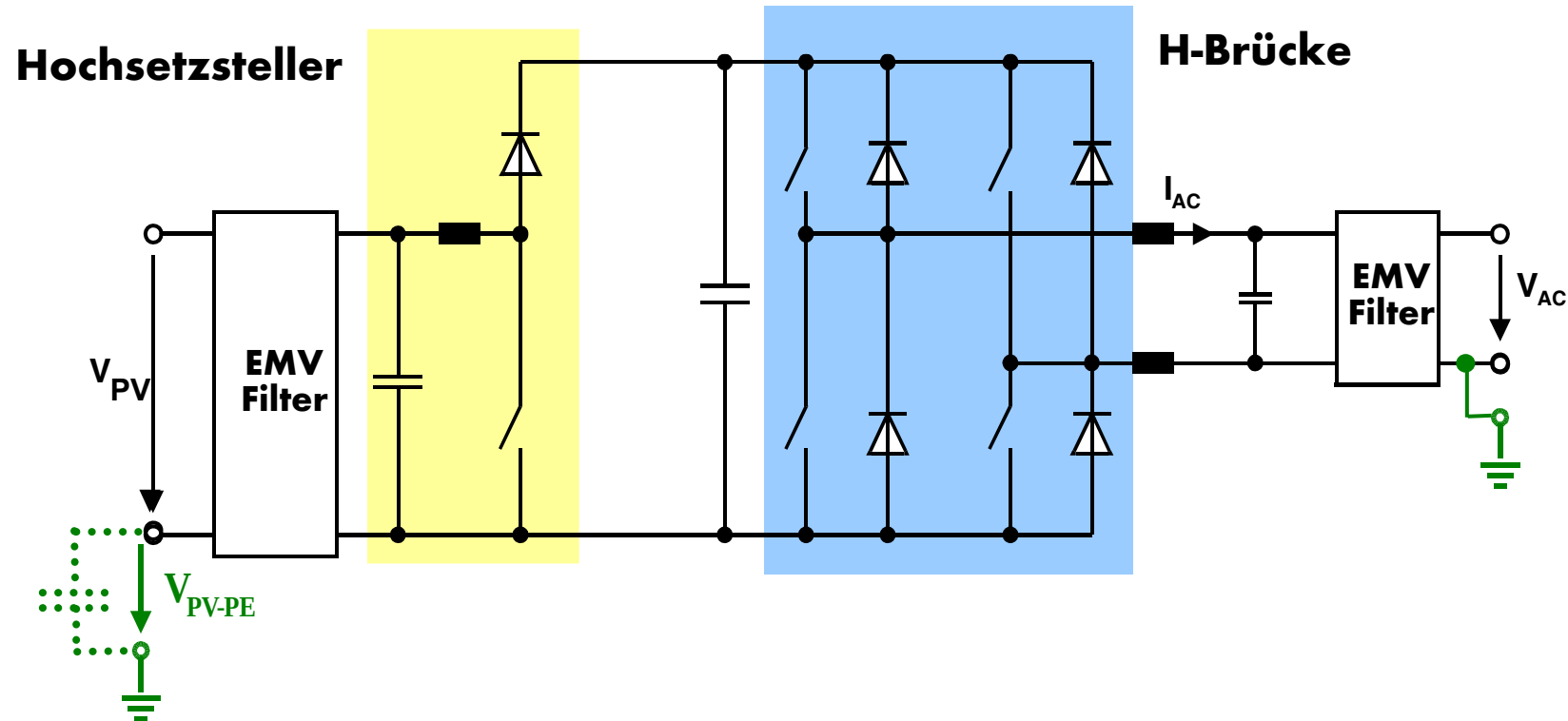
Topologie mit HF-Transformator



- Vorteile: Geringes Gewicht, geringe Größe, Spitzenwirkungsgrade > 95 % nicht möglich
- Nachteile: Hohe Anzahl an Elementen (schlechte Zuverlässigkeit?), DC-Stromeinspeisung möglich (obwohl Transformator benutzt wird)



- Vorteile: Sehr hoher Wirkungsgrad, geringes Gewicht, geringe Größe
- Nachteile: Kleiner Eingangsspannungsbereich, keine galvanische Trennung, hohe Eingangsspannung notwendig $> 300\text{ V}$, Ableitströme aufgrund der AC-Komponente von **PV-Modul-zu-Erde-Spannung**



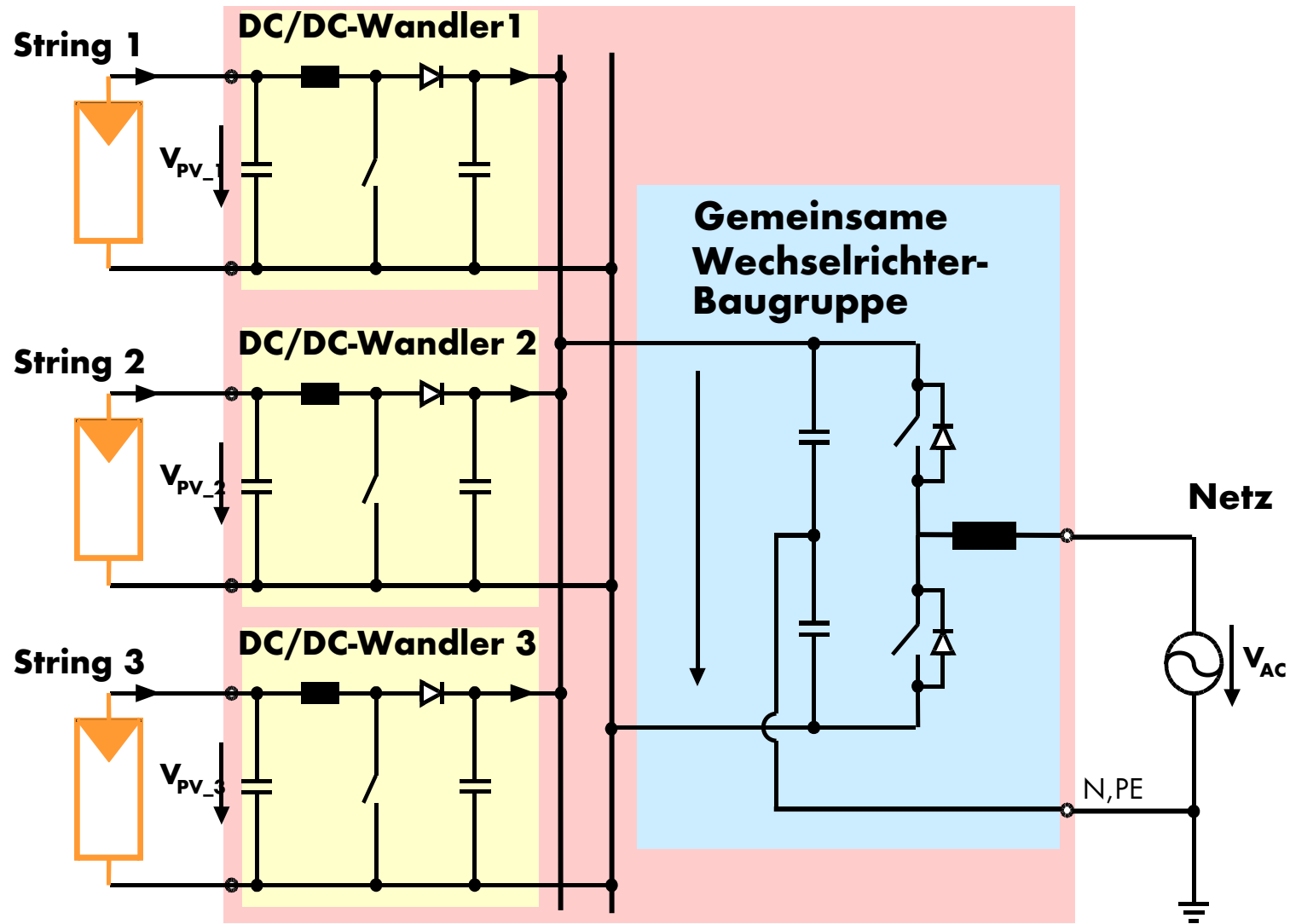
- Vorteile: Wie vorheriges Konzept plus erweiterten Eingangsspannungsbereich
- Nachteile: Keine galvanische Trennung, DC-Stromeinspeisung > 5 mA nur aufwändig vermeidbar, Ableitströme aufgrund der AC-Komponente von **PV-Modul-zu-Erde-Spannung**

Historische Meilensteine

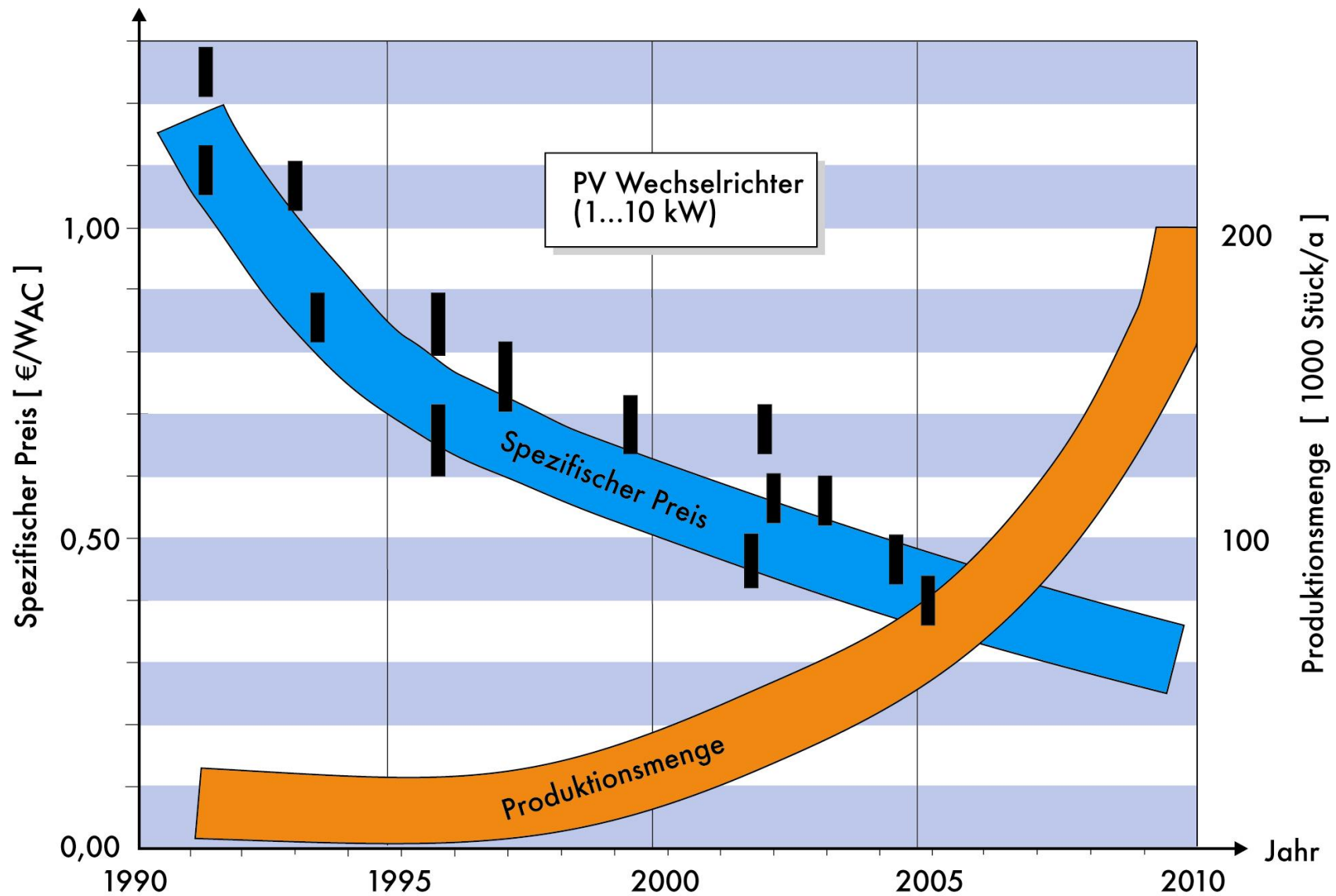


1987		Zentral-WR	Schaltschränke 350 kW
1990		PV-WR	Erster PV-Wechselrichter konzipiert für die Serienproduktion
1995		Sunny Boy 700	Erster String-Wechselrichter
1998		Sunny Boy 1500TL	Erster transformatorloser String-Wechselrichter mit Wirkungsgrad > 96 %
2002		Sunny Boy 5000TL	Erster Multi-String-Wechselrichter mit drei unabhängigen MPP-Reglern

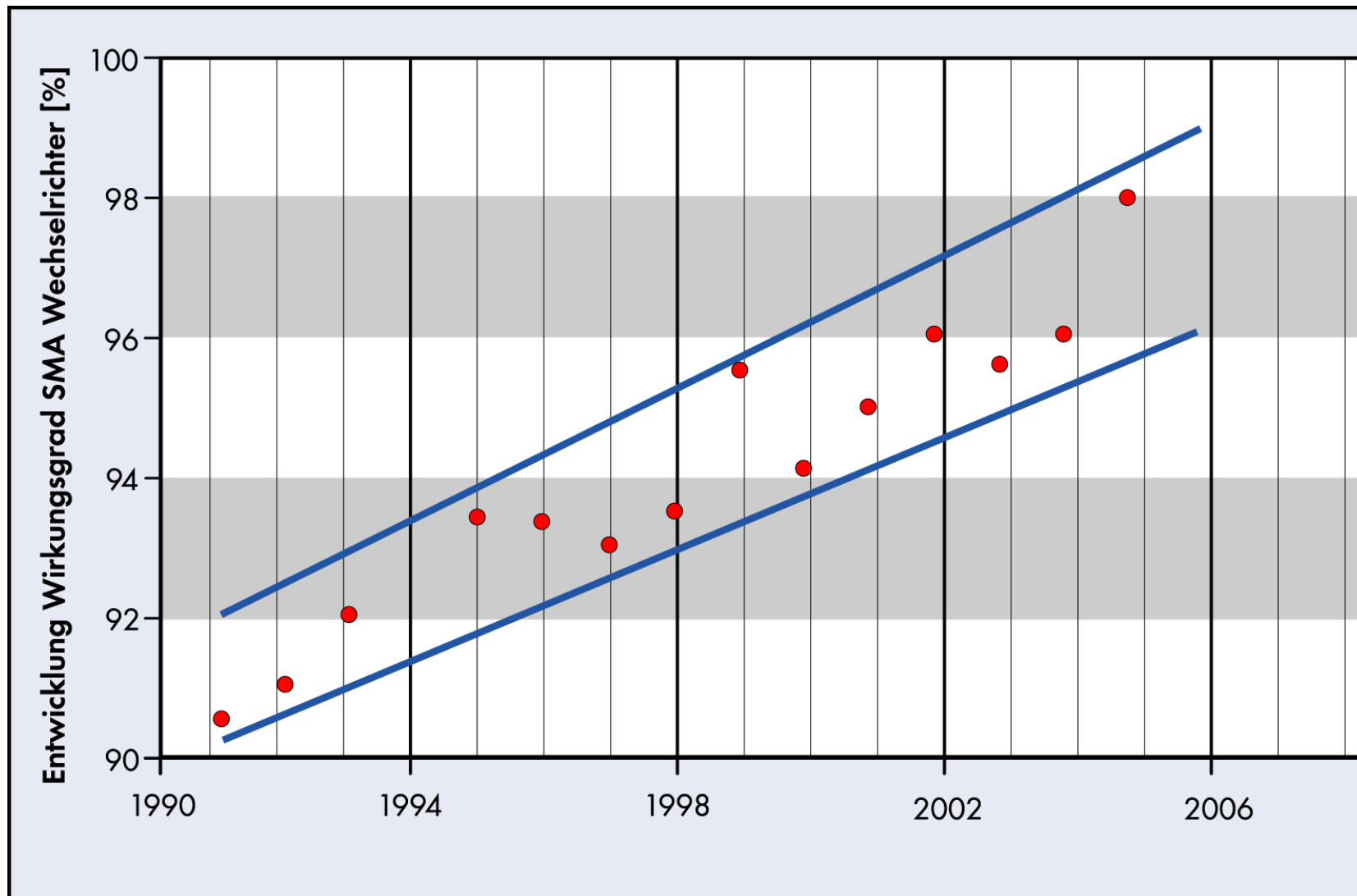
Multistring-Topologie mit drei HS-Stellern



Entwicklung des Preises und der Produktionsmenge



Entwicklung des WR-Wirkungsgrads

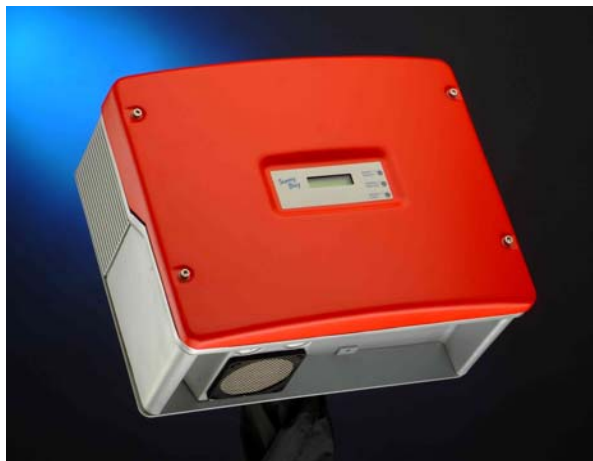


Entwicklung kleiner PV-Wechselrichter in 15 Jahren

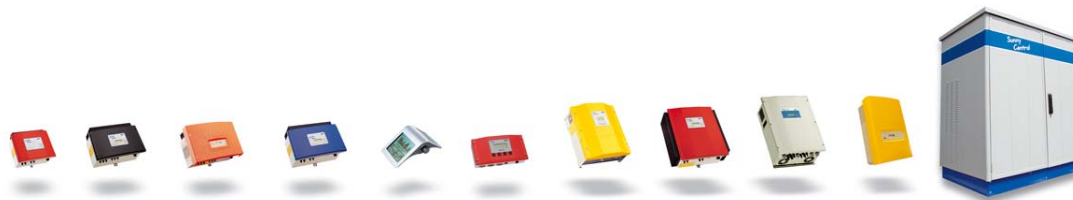
1990	1995	2003	2006
PV-WR 1800	SB 700	SB 5000TL Multi-String	SMC 8000TL mit H5-Technologie
			
Max. η : 90 %	Max. η : 93 %	Max. η : 96 %	Max. η : 98 %
Preis: ca. 1,20 Euro/W	Preis: ca. 1,10 Euro/W	Preis: ca. 0,60 Euro/W	Preis: ca. 0,40 Euro/W

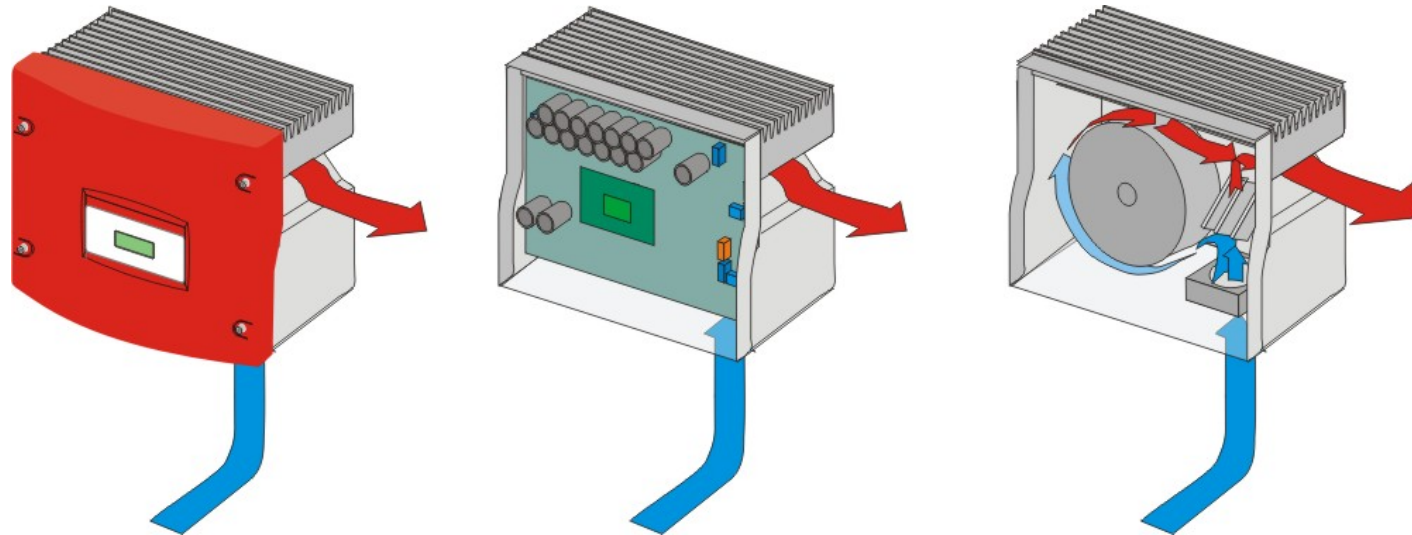
- 1 Einführung
- 2 Historischer Vergleich der PV-Systemkonzepte
- 3 Entwicklung der String-Wechselrichter
- 4 Ausgeführte Beispiele mit OptiCool™ und H5™-Topologie
- 5 Netzintegration von PV-Anlagen bis 30 kVA
- 6 Netzintegration von PV-Großanlagen
- 7 Ausblick und Zusammenfassung





- Optimal für Produktionsmengen > 12000/J
- Komplexes, ergonomisches Aluminium-Druckgussgehäuse
- Entwicklung unterstützt von Industriedesigner
- Opticool™
- Integriertes Leistungsmodul für einfache Montage
- Hoher Wirkungsgrad von > 95,6 % mit Trafo
- Niedriger spezifischer Preis





- Schutz der empfindlichen Elektronik durch die hohe Schutzart IP65
- Leistungselektronik-Kühlkörper, Trafos und Drosseln werden im IP54-Gehäuse belüftet
- Auch bei 40 °C Umgebungstemperatur keine Abregelung durch aktive Kühlung
- Lüfter ist temperaturgesteuert
- Optimaler Lüfter hat MTBF von > 25 Jahren



SMC 8000TL mit H5™-Technologie



Weltrekord mit maximalem Wirkungsgrad (> 98 %) durch H5™-Topologie. Fünfter Schalter ergänzt H4-Brücke, um Verluste in Netzdrossel durch Entkoppelung des PV-Generators zu erreichen.



Technische Daten

- Dauerleistung: 8000 W_{AC} @ 40 °C
- Max. DC-Spannung: 700 V
- Max. Wirkungsgrad: > 98 %
- Markteinführung Anfang 2006
- Bester spezifischer Preis (< 0,40 €/W)

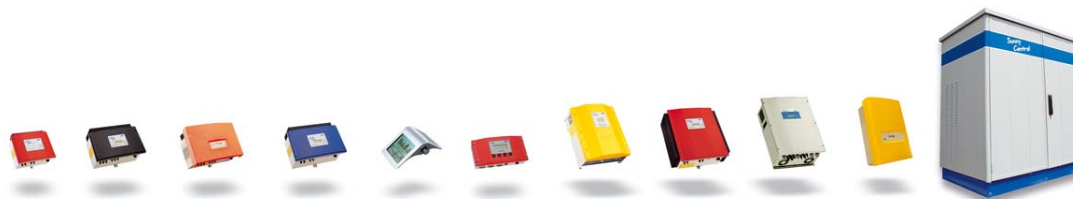


- 1 Einführung
- 2 Historischer Vergleich der PV-Systemkonzepte
- 3 Entwicklung der String-Wechselrichter
- 4 Ausgeführte Beispiele mit OptiCool™ und H5-Topologie
- 5 Netzintegration von PV-Anlagen bis 30 kVA**
- 6 Netzintegration von PV-Großanlagen
- 7 Ausblick und Zusammenfassung

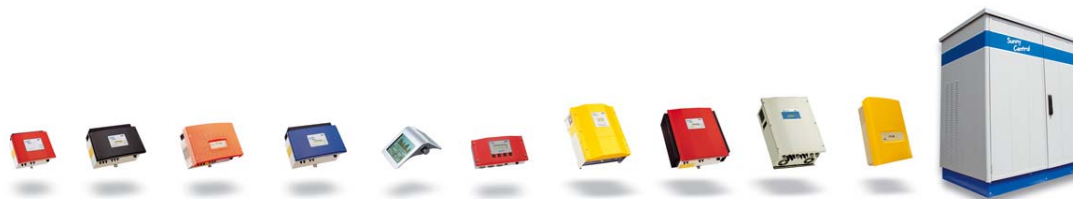


- Versorgungsnetzbetreiber:
 - Keine negative Beeinflussung der Versorgungsqualität
 - Zuverlässige Vermeidung Inselnetzbildung (Sicherheit!)
 - Spannungssteigerungsschutz, Spannungsrückgangsschutz
 - Frequenzsteigerungsschutz, Frequenzrückgangsschutz
 - Keine störenden Netzurückwirkungen, z. B. Oberschwingungen, Flicker

- PV-Anlagenbetreiber:
 - Zuverlässigkeit der Einspeisung bei allen Netzbedingungen für hohe Energieerträge
 - Schutz vor Personen- und Sachschäden



- VDEW-RL „Eigenerzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz“
4. Ausgabe 2001 und dazu
 - Merkblatt zur VDEW Richtlinie, März 2004
 - Ergänzende Hinweise zur selbsttätigen Freischaltstelle, VDN, August 2005
- DIN VDE 0126:1999-04 Selbsttätige Freischaltstelle ...
- E DIN VDE 0126-1-1:2005-05 Selbsttätige Freischaltstelle ...
- EN 50160:1995-10 Merkmale der Spannungen in öffentlichen Netzen
- EN 61000-3-2:2005 EMV – Grenzwerte Oberschwingungsströme (< 16 A je Leiter)
- EN 61000-3-12:2005 EMV – Grenzwerte Oberschwingungsströme (< 75 A je Leiter)



- Unterscheidung Anlagenleistung
 - > 30 kVA: Jederzeit zugängliche Netztrennstelle
 - ≤ 30 kVA: Selbsttätige Freischaltstelle zum öffentlichen Netz

- Drei Verfahren für selbsttätige Freischaltstelle:
 - Impedanzsprung (bekannt als „ENS“)
 - Dreiphasige Spannungsüberwachung
 - Schwingkreistest

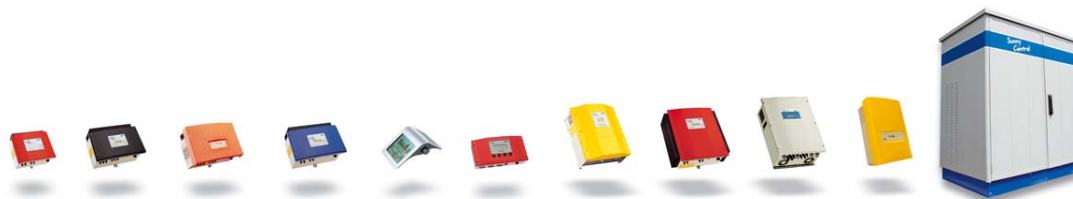


- Neue Spannungsgrenzwerte, zur Abschaltung führt:
 - Innerhalb 200 ms: $U \leq 80 \% U_N$ und $U \geq 115 \% U_N$
 - Gemessen als Mittelwert über 10 min. U zwischen $106 \% U_N$ und $115 \% U_N$, wobei nach VDE 0126-1-1 der einzustellende Wert den Spannungsfall bis zum Netzverknüpfungspunkt berücksichtigen kann (Genehmigung durch Versorgungsnetzbetreiber)
- Neuer erweiterter Frequenzrückgangsschutz (47,5 Hz innerhalb von 200 ms)
- Für Wechselrichter wird Überlastung von 10 % akzeptiert
- Die Unsymmetrie zwischen Außenleitern darf im normalen Betriebszustand 4,6 kVA nicht überschreiten (keine Fehlerfälle!)
- Beim Impedanzsprung sind 1Ω einzustellen



- Basiert auf neuer E DIN VDE 0126-1-1, Mai 2005
- Aktives Verfahren erkennt sicherer Inselnetze als passive Verfahren (z. B. dreiphasige Spannungsüberwachung)
- Höchste Zuverlässigkeit durch:
 - Impedanzsprung 1 Ω statt bisher 0,5 Ω (verbesserte „ENS“)
 - 10 min. Mittelwerte und Spannungsfallberücksichtigung
 - Keine Empfindlichkeit bezüglich Netzstörungen und Rundsteuersignale

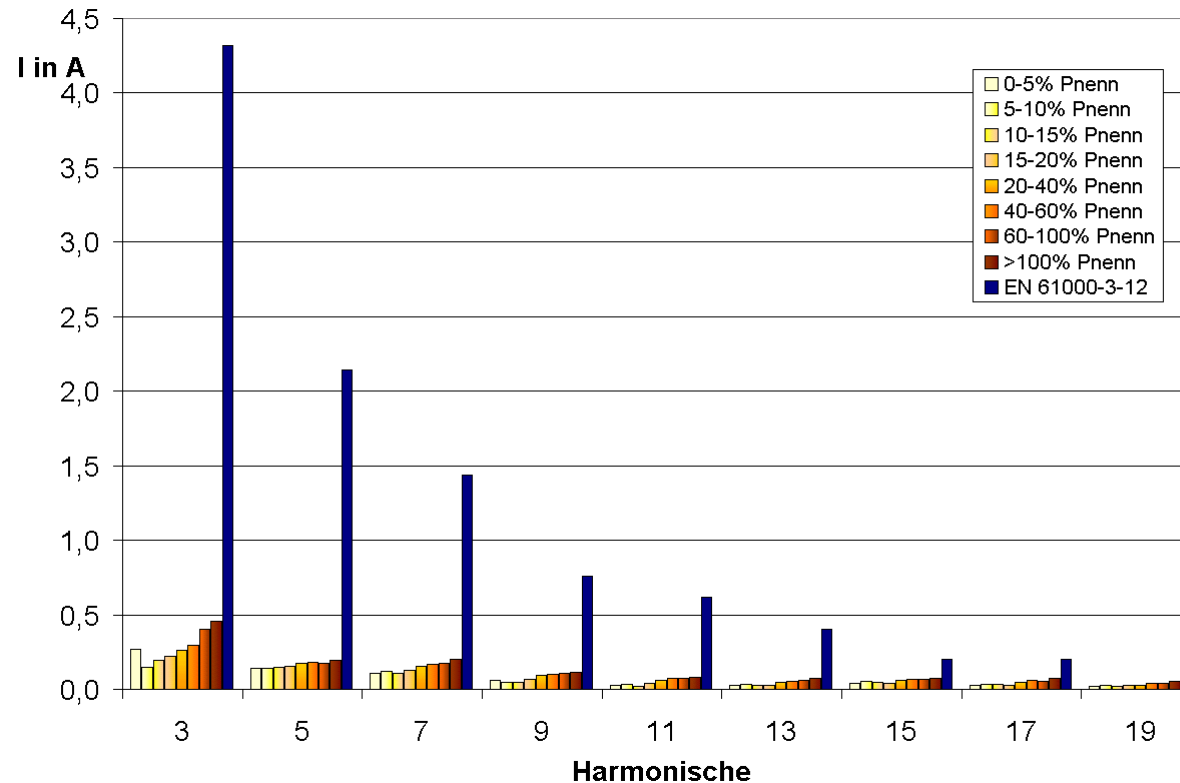
Sicher und zuverlässig!



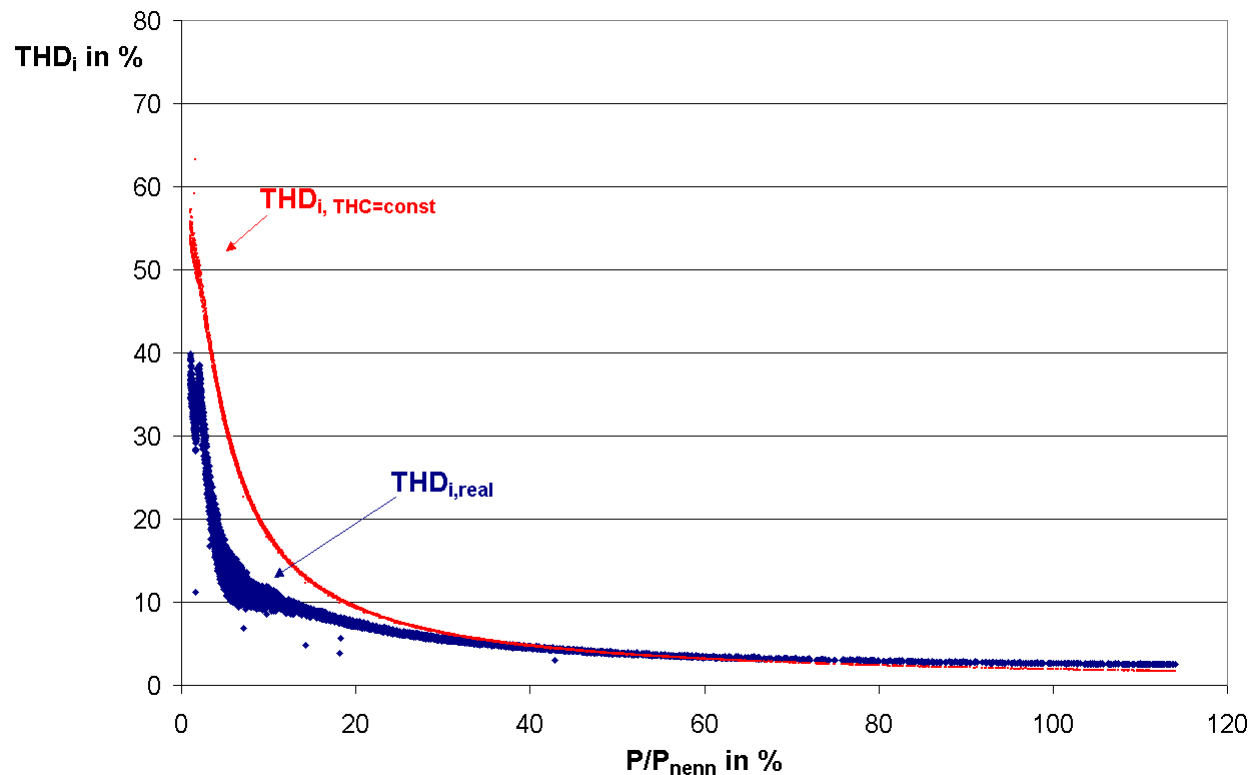
- Einspeisung von 40 Anlagen mit insgesamt 250 kWp (ca. 6 kWp pro Haushalt)
- Stromüberschuss im NS-Netz (ca. 50 % Trafonennleistung)
- EN 50160 bezüglich Spannungsqualität eingehalten
- Auf gleichmäßige Verteilung der WR auf die drei Phasen achten!
- Bei schwächeren Netzen und Netzausläufern Netzberechnung und Berücksichtigung des Spannungsfalls

Quelle: Laukamp u. a., ISE, Staffelstein 2004





Harmonischen liegen deutlich unterhalb der Grenzwerte der entsprechenden Norm EN61000-3-12:1998

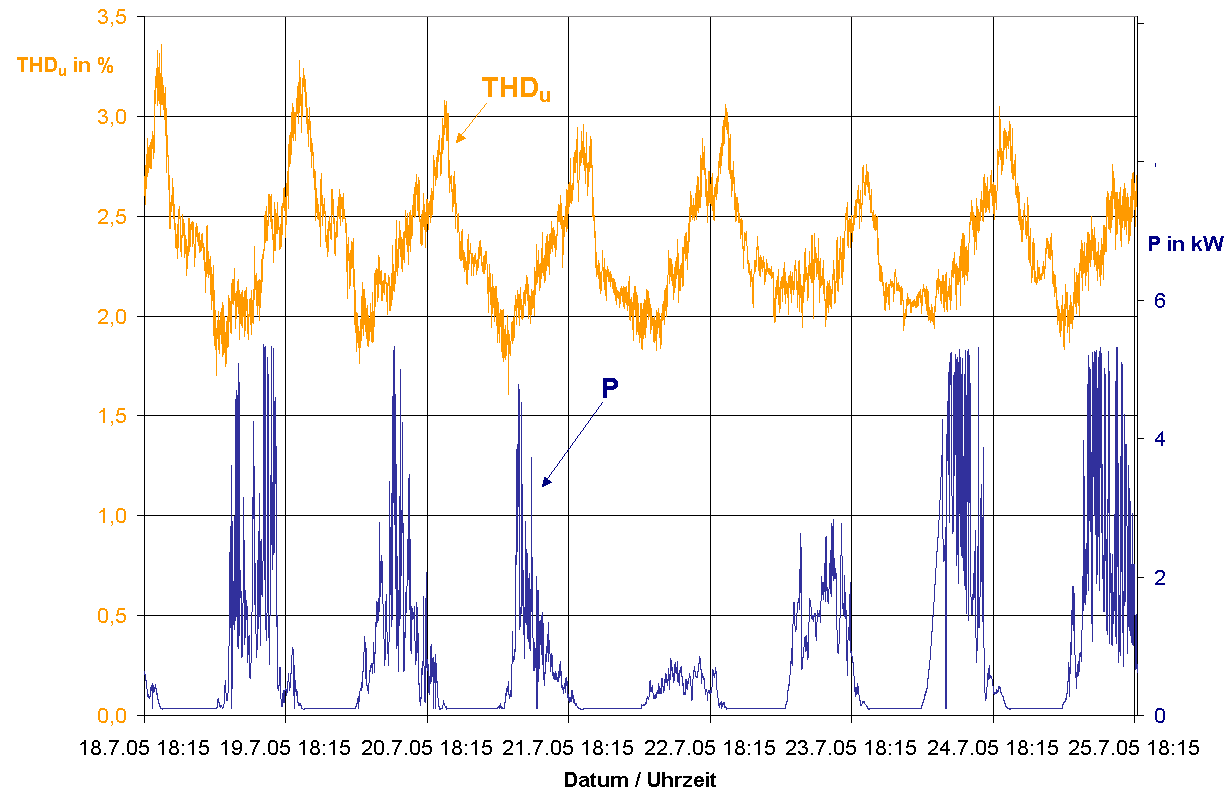


Exponentieller Anstieg bei kleinen Leistungen, weil

- der Effektivwert der Stromoverschwingungen kaum leistungsabhängig ist,
- die Grundschwingung aber linear mit der Leistung abnimmt.

THDi bei kleinen Leistungen hat keine Aussagekraft

SB5000TL – THD der Netzspannung



Klirrfaktor der Netzspannung wird überwiegend durch Lastgang und Tageszeit bestimmt (abends viele Fernseher mit schlechtem Schaltnetzteil)

- 1 Einführung
- 2 Historischer Vergleich der PV-Systemkonzepte
- 3 Entwicklung der String-Wechselrichter
- 4 Ausgeführte Beispiele mit OptiCool™ und H5-Topologie
- 5 Netzintegration von PV-Anlagen bis 30 kVA
- 6 Netzintegration von PV-Großanlagen**
- 7 Ausblick und Zusammenfassung

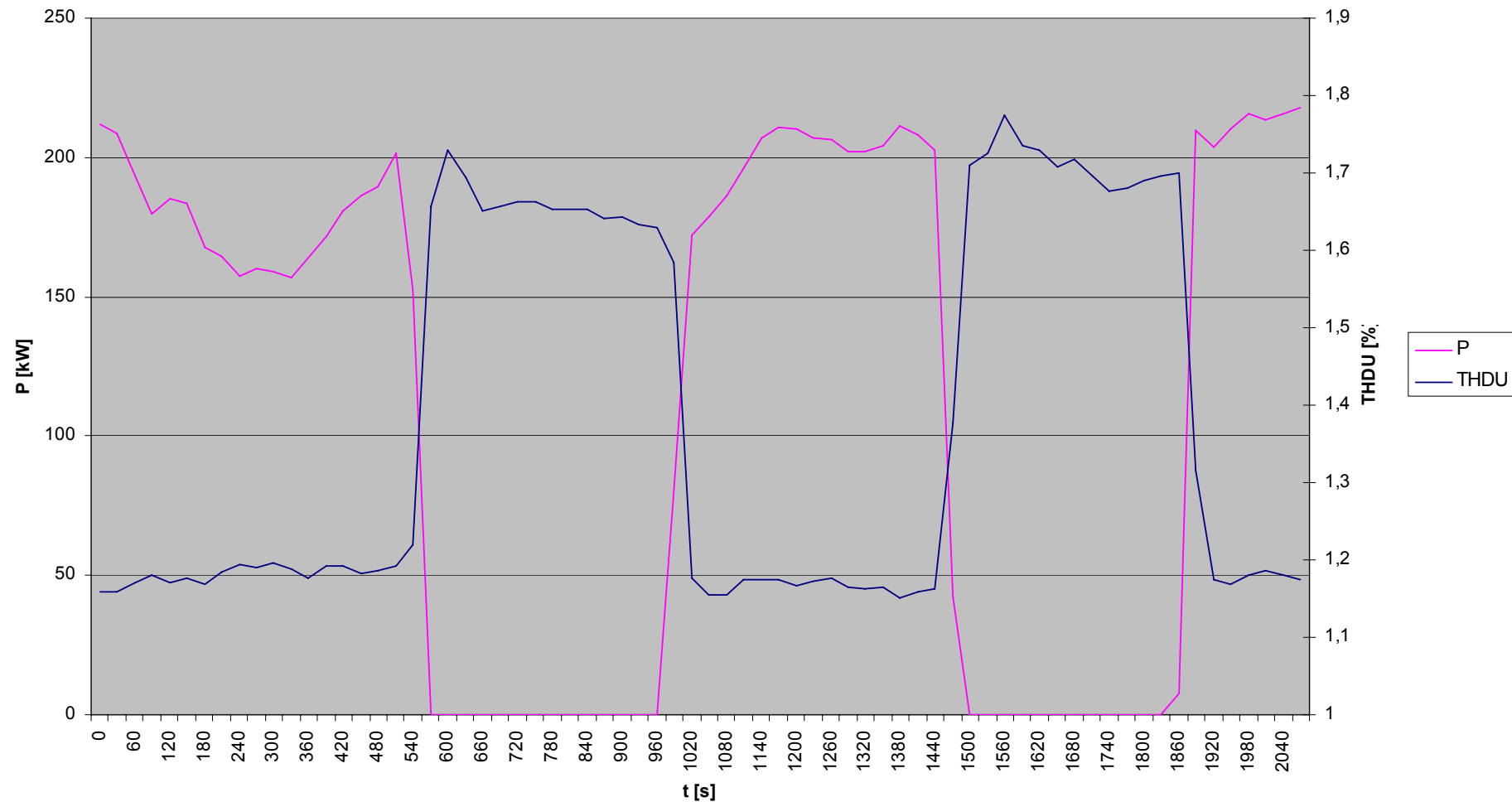


Netzintegration von PV-Großanlagen (1)

- Bei Anschluss > 30 kVA wird Netzanschlusspunkt durch Netzbetreiber vorgegeben
- Ab einigen 100 kVA wird wegen der notwendigen Kurzschlussleistung eine Einspeisung ins Mittelspannungsnetz verlangt (VDEW-RL "Eigenerzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz" 2. Auflage 1998)
- Zunehmend werden bei großen Windparks gewisse Kraftwerkeigenschaften für kritische Netzverhältnisse gefordert:
 - Erzeugungsmanagement
 - Blindleistungssteuerung und -regelung
 - Mittelfristig werden auch der Verbleib der Anlagen am Netz bei fernem Netzkurzschluss und die gleichzeitige Lieferung von Blindstrom gefordert (Fault-ride-through)



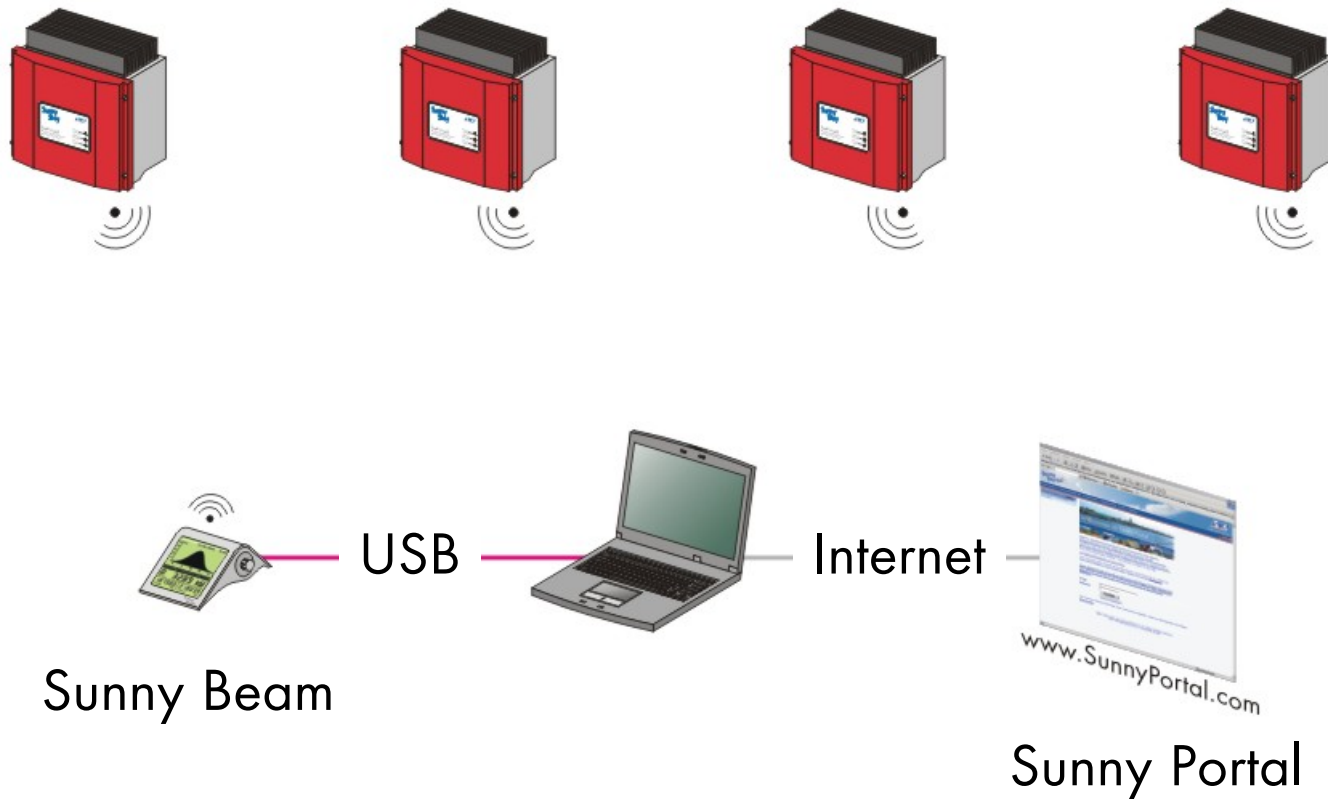
THDu mit und ohne WR-Einspeisung.
Die Spannungsqualität wird durch WR verbessert

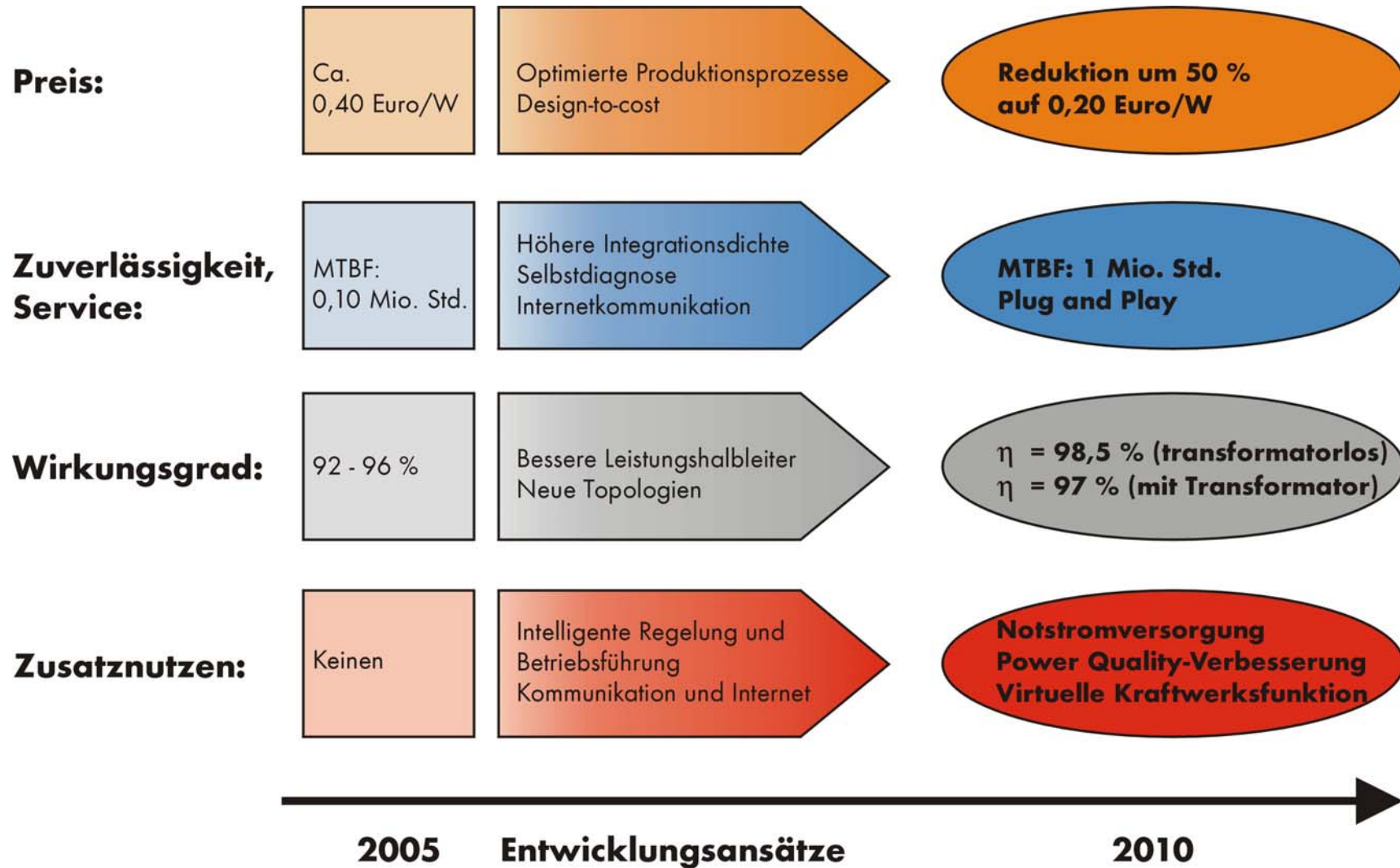


- 1 Einführung
- 2 Historischer Vergleich der PV-Systemkonzepte
- 3 Entwicklung der String-Wechselrichter
- 4 Ausgeführte Beispiele mit OptiCool™ und H5-Topologie
- 5 Netzintegration von PV-Anlagen bis 30 kVA
- 6 Netzintegration von PV-Großanlagen
- 7 Ausblick und Zusammenfassung



Trend: Kabellose und Internetkommunikation





- PV-Anlagen mit SMA-Wechselrichtern lassen sich meist sehr problemlos in Niederspannungs- und Mittelspannungsnetze integrieren
- SMA grid guard® Version 2.0 basiert auf neuer VDE 0126-1-1 und vereinigt höchste Sicherheit gegen Inselnetzbildung (aktives Verfahren) mit nie erreichter Zuverlässigkeit (keine Empfindlichkeit gegenüber Rundsteuersignalen)
- Durch Innovationen (trafolose Multistring, H5™-Topologie, Opticool™, direkte Mittelspannungseinspeisung, Sunny Team etc.) und hohe Verfügbarkeit bieten SMA-Wechselrichter höchste Energieerträge
- Einphasige Wechselrichter sind die wirtschaftlichere Lösung für PV-Anlagen zwischen 700 W und 100 kW. Z. B. sind sechs einphasige SMC 8000TL deutlich kostengünstiger als ein 50 kW-Zentralwechselrichter

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

