

# Blindleistung





# INHALT

<b>EINLEITUNG</b>	<b>4</b>
<b>1. GRUNDLAGEN</b>	<b>4</b>
1.1 Was ist Blindleistung?	4
1.2 Wie entsteht Blindleistung?	7
1.3 Was sind die Auswirkungen auf das Verteilnetz?	9
<b>2. BLINDLEISTUNG IM VERTEILNETZ</b>	<b>12</b>
2.1 Wie wird Blindleistung im Netz bereitgestellt?	12
2.2 Wie gehen die Netzbetreiber hinsichtlich der Blindleistung mit Verbrauchern und Einspeisern um?	12
<b>3. BLINDLEISTUNG UND PHOTOVOLTAIK</b>	<b>13</b>
3.1 Inwieweit dürfen Netzbetreiber die Einspeisung von Blindleistung verlangen?	13
3.2 Welche Richtlinien und Gesetze sind anzuwenden?	13
3.3 Was ist die Zielsetzung dieser Richtlinien und Gesetze?	13
3.4 Inwieweit können PV-Wechselrichter Blindleistung bereitstellen?	13
3.5 Was sind die Auswirkungen auf die anderen Betriebsdaten?	14
3.6 Welche Produktlösungen bietet SMA?	14
3.7 Was fordert die Mittelspannungsrichtlinie?	15
3.8 Wie sieht die technische Umsetzung aus?	15
3.9 Was kostet die Blindleistungseinspeisung?	16
<b>4. BLINDLEISTUNG IN DER PV-ANWENDUNG</b>	<b>17</b>
4.1 Wie ändert sich die Anlagenplanung, wenn vom Netzbetreiber Blindleistung gefordert wird?	17
4.2 Hat die Blindleistungseinspeisung auch Vorteile für den Anlagenbetreiber?	18
4.3 Gibt es Planungssoftware, die Blindleistungseinspeisung berücksichtigt?	18
4.4 Wie kann es sein, dass eine Anlage mehr Blind- als Wirkleistung einspeist?	18
<b>5. LITERATUR</b>	<b>19</b>

# EINLEITUNG

---

Der Begriff „Blindleistung“ ist seit einigen Monaten verstärkt in den Fokus der Aufmerksamkeit gerückt, nicht zuletzt im Zusammenhang mit der neuen BDEW-Richtlinie „Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz“ [TREaM08]: Nachdem PV-Wechselrichter in den vergangenen Jahren generell nur Wirkleistung einspeisen durften, sollen sie jetzt auch Blindleistung zur Verfügung stellen. Blindleistung ist damit ein wichtiges Thema für Planer, Installateure und Anlagenbetreiber geworden.

Als einer der ersten Hersteller von blindleistungsfähigen Wechselrichtern will SMA hierzu Grundinformationen liefern, Zusammenhänge erläutern, aber auch praktische Fragen beantworten. Das vorliegende Kompendium soll die Informationen leicht verständlich aufbereiten – die grau hinterlegten Kästen bieten Hintergrundinformationen oder Beispielrechnungen.

## 1. GRUNDLAGEN

---

### 1.1 Was ist Blindleistung?

Beim Gleichstrom sind die Verhältnisse noch einfach: Als Leistung bezeichnet man das Produkt aus Spannung und Stromstärke, die Einheit der Leistung ist das Watt. Beim Wechselstrom liegen die Dinge jedoch komplizierter: Stärke und Richtung von Stromfluss und Spannung ändern sich hier regelmäßig. Im öffentlichen Stromnetz haben beide einen sinusförmigen Verlauf mit einer Frequenz von 50 Hertz\*. Das Produkt aus dem pulsierenden Strom und der pulsierenden Spannung ergibt folglich eine pulsierende Leistung.

Die Wechselstromleistung kann jedoch verschiedene Formen annehmen – je nachdem, ob Strom und Spannung phasenverschoben sind, oder nicht. Ohne Phasenverschiebung (Strom und Spannung erreichen gleichzeitig ihre Maximal- und Minimalwerte) schwankt die Leistung zwischen Null und dem positiven Maximalwert. Im zeitlichen Durchschnitt ergibt sich damit ein positiver Leistungswert, es entsteht ausschließlich Wirkleistung (siehe Abb.1).

\*In einigen Ländern auch 60 Hertz

Bei einer Phasenverschiebung von 90 Grad oder  $\frac{1}{4}$  Periode (Maximum des Stroms beim Nulldurchgang der Spannung) nimmt die Leistung dagegen abwechselnd positive und negative Werte an. Der zeitliche Durchschnitt ist daher Null, man spricht von Blindleistung, die quasi in den Leitungen „hin- und herpendelt“ (siehe Abb. 2).

Bei geringeren Phasenverschiebungen ist die Leistungs-Schwingung nur etwas unter die Nulllinie verschoben, in diesem Fall ergibt sich eine Mischung von Blind- und Wirkleistung.

Generell gilt: Nur die Wirkleistung ist nutzbare Leistung. Mit ihr lassen sich Maschinen antreiben, Heizstrahler betreiben oder Lampen zum Leuchten

bringen. Bei der Blindleistung liegen die Dinge anders: Sie verbraucht sich nicht und kann auch keine Arbeit leisten. Stattdessen pendelt sie im Stromnetz hin und her – und belastet es dadurch zusätzlich.

In der Summe ergeben Wirk- und Blindleistung die so genannte Scheinleistung. Dabei ist zu beachten, dass sie nicht „normal“ addiert werden, sondern geometrisch: Wirk- und Blindleistung bilden die Katheten eines rechtwinkligen Dreiecks, die Hypotenuse entspricht der Scheinleistung. 5 kW Wirkleistung und 3 kvar Blindleistung ergeben also nur 5,8 kVA Scheinleistung. Allerdings müssen sämtliche Komponenten eines Wechselstromkreises grundsätzlich für die anfallende Scheinleistung ausgelegt sein (siehe auch 1.3).

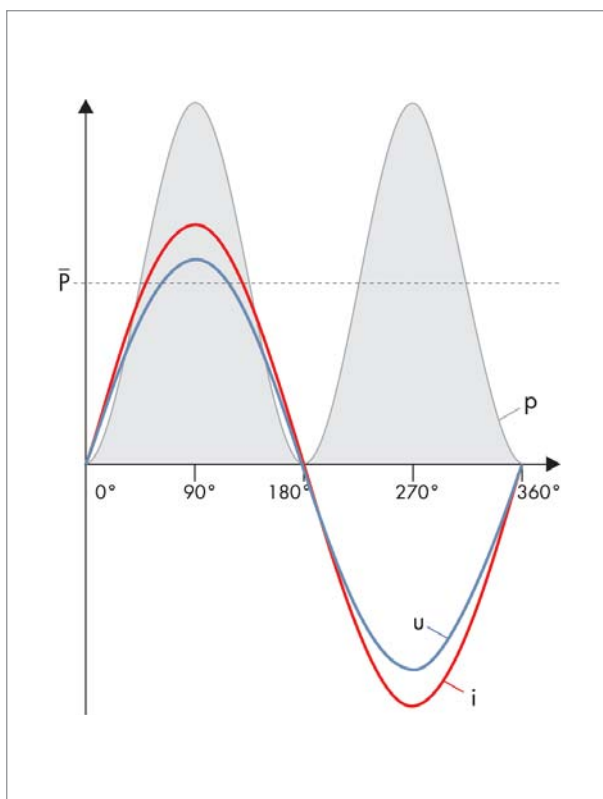


Abb. 1: Wenn Strom  $i$  und Spannung  $u$  in Phase sind, ergibt sich eine zwar schwankende, aber immer positive Leistung – reine Wirkleistung.

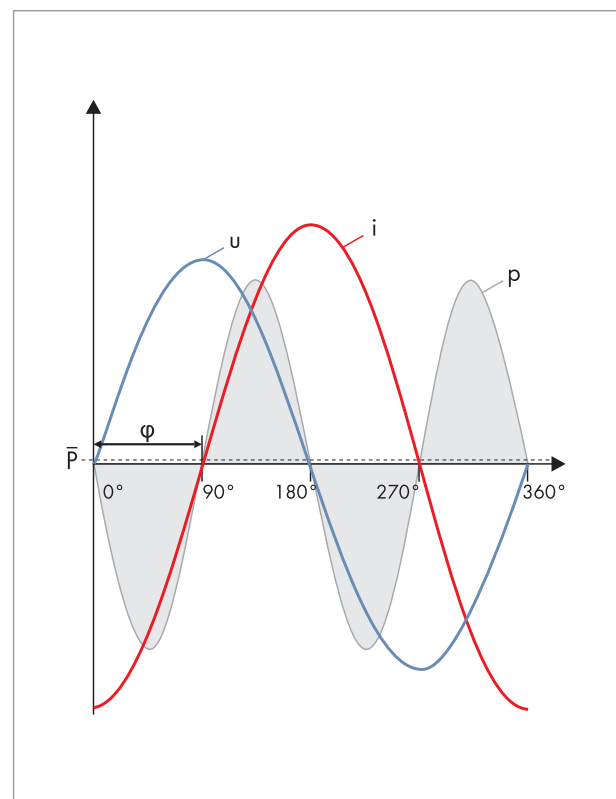


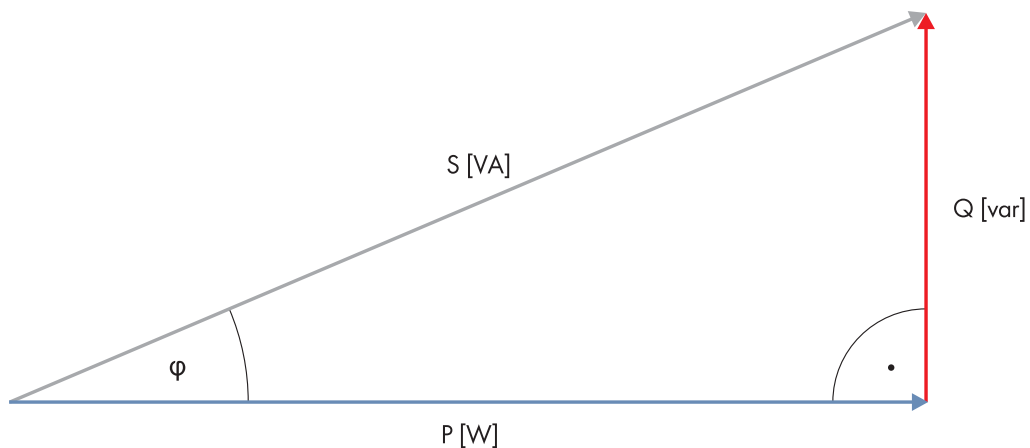
Abb. 2: Bei einer Phasenverschiebung von 90 Grad zwischen  $i$  und  $u$  ist der Durchschnittswert der Leistung null – reine Blindleistung.

Da die Phasenverschiebung in zwei Richtungen erfolgen kann, gibt es auch zwei Varianten der Blindleistung: induktive und kapazitive. Ein Verbraucher nimmt Blindleistung auf oder verhält sich induktiv, wenn die Stromphase der Spannungsphase folgt – im umgekehrten Fall verhält er sich kapazitiv oder liefert Blindleistung. Die Phasenverschiebung wird in Winkelgrad angegeben (eine Periodendauer der Sinusschwingung entspricht 360 Grad), den Phasenwinkel bezeichnet man mit dem griechischen Buchstaben  $\varphi$  (sprich „phi“). Die Richtung der Verschiebung wird durch den Zusatz „kapazitiv“ oder „induktiv“ ausgedrückt.

Meist rechnet man aber mit dem Verschiebungsfaktor  $\cos(\varphi)$ , denn damit ergibt sich ein sehr einfacher Zusammenhang zwischen Wirk- und Scheinleistung: Ein Wert von 0,95 bedeutet, dass 95 Prozent der Scheinleistung als Wirkleistung nutzbar sind – der Rest „steckt“ in der Blindleistung. Er entsteht durch geometrische Subtraktion und beträgt daher nicht etwa 5, sondern in diesem Fall rund 31 Prozent der Scheinleistung (siehe Beispielrechnung). Umgekehrt betrachtet ist bei einem  $\cos(\varphi)$  von 0,95 die Scheinleistung um 5,26 Prozent größer als die gegebene Wirkleistung (Scheinleistung = Wirkleistung geteilt durch Verschiebungsfaktor, siehe Beispielrechnung).

**FORMELN UND GRÖSSEN**

Bezeichnung	Formelzeichen	Einheit
Scheinleistung	S	[VA]
Wirkleistung	P	[W]
Blindleistung	Q	[var]
Verschiebungsfaktor	$\cos(\varphi)$ kapazitiv / induktiv	einheitenloser Faktor



$S^2 = P^2 + Q^2$  (Satz des Pythagoras für rechtwinklige Dreiecke)

$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

$S = \frac{P}{\cos(\varphi)}$

$P = S \cdot \cos(\varphi)$

$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$

**BEISPIELRECHNUNG**

60 Wechselrichter SMC 10000TLRP speisen bei einem Verschiebungsfaktor von 1 mit insgesamt 600 kW Wirkleistung ins Netz ein. Alternativ soll mit einem Verschiebungsfaktor von 0,95 eingespeist werden. Welche Schein-, Wirk- und Blindleistung ergibt sich? Reichen die vorhandenen Wechselrichter?

Die zur Verfügung stehende Wirkleistung P beträgt 600 kW.

$$\text{Für die Scheinleistung } S \text{ gilt: } S = \frac{P}{\cos(\varphi)} \quad \text{also } S = \frac{600}{0,95} = 631,57 \text{ kVA}$$

$$\text{Für die Blindleistung } Q \text{ gilt: } Q = \sqrt{S^2 - P^2} \rightarrow Q = \sqrt{631^2 - 600^2} \rightarrow Q = 197,2 \text{ kvar}$$

**Ergebnis**

Aufgrund der Phasenverschiebung mit einem Verschiebungsfaktor von 0,95 müssen die Wechselrichter neben den 600 kW Wirkleistung eine zusätzliche Blindleistung von 197,2 kvar bereitstellen. In der geometrischen Summe ergibt sich eine Scheinleistung von 631,6 kVA. Auf diese Scheinleistung müssen die Wechselrichter und die nachfolgende Netzinfrastruktur ausgelegt sein. Zum Betrieb an dem gleichen PV-Generator werden daher 631,6 kVA Wechselrichterleistung benötigt – zum Beispiel 63 Wechselrichter SMC 10000TLRP (oder alternativ 57 Wechselrichter SMC 11000TLRP, wenn dies von der Modulkonfiguration günstiger ist).

**Hinweise**

Bei einer Auslegung mit Blindleistungseinspeisung muss die Leistung des PV-Generators gleichmäßig auf die nunmehr größere Anzahl der Wechselrichter verteilt werden. Die Leistung von blindleistungsfähigen Wechselrichtern ist dabei generell als Scheinleistung zu verstehen und muss immer in VA angegeben werden. Lediglich bei einem Verschiebungsfaktor  $\cos(\varphi) = 1$  haben Wirk- und Scheinleistung den gleichen Betrag, so dass die Leistung nicht blindleistungsfähiger Geräte wie bislang üblich in Watt angegeben wird.

**1.2 Wie entsteht Blindleistung?**

So wie Wirkleistung an ohmschen Widerständen entsteht, wird Blindleistung durch Blindwiderstände erzeugt – die so genannten Reaktanzen. Als Blindwiderstände wirken grundsätzlich alle Arten von Spulen (Induktivitäten) und Kondensatoren (Kapazitäten): Während sie im Gleichstromkreis gar keinen (Spule) beziehungsweise einen unendlich

großen Widerstand (Kondensator) haben, sorgen sie im Wechselstromkreis für eine Phasenverschiebung in die eine oder andere Richtung und damit für induktive oder kapazitive Blindleistung. Entscheidend für die Anwendung im Wechselstromnetz ist nun, dass praktisch alle elektrischen Bauelemente – abgesehen von ihrer eigentlichen Funktion – auch als kapazitive

oder induktive Blindwiderstände wirken. So verhalten sich lange Kabel aufgrund der dicht beieinander liegenden Leiter wie Kondensatoren (kapazitive Blindwiderstände), während die in Transformatoren oder Elektromotoren verbauten Spulen als induktive Blindwiderstände wirken. Sogar Hochspannungsfreileitungen kann man sich als extrem lang gezogene Spulen mit nur einer Windung vorstellen-

und tatsächlich sorgen sie für eine induktive Phasenverschiebung.

Fazit: Es ist nahezu unmöglich, Spannung und Strom an jedem Punkt eines Wechselstromnetzes phasengleich zu halten. Die mehr oder weniger starke Phasenverschiebung entspricht dabei einer bestimmten Menge Blindleistung, die ständig im Netz pendelt.

### **BLINDWIDERSTÄNDE (REAKTANZEN)**

#### **Kondensator (Kapazität)**

Ein Kondensator stellt im Gleichstromkreis eine regelrechte Unterbrechung dar – also einen unendlich großen Widerstand. Beim Wechselstrom schwingen die elektrischen Ladungen aber lediglich hin und her. Ein Kondensator im Wechselstromkreis wird also abwechselnd geladen und wieder entladen. Die Spannung zwischen den Kondensatorpolen baut sich während des Ladevorgangs auf und erreicht ihr Maximum dann, wenn der Kondensator vollständig aufgeladen und der Stromfluss zum Erliegen gekommen ist. Beim Entladevorgang sind die Verhältnisse umgekehrt: Die Stromstärke ist dann am größten, wenn der Kondensator vollständig entladen ist.

Ergebnis: Ein Kondensator im Wechselstromkreis verzögert die Spannung gegenüber dem Strom. Oder andersherum: Er sorgt dafür, dass der Strom der Spannung vorausseilt und wirkt somit als kapazitiver Blindwiderstand.

#### **Spule (Induktivität)**

Eine Spule leitet Gleichstrom wie ein normaler Draht. Nur beim Ein- und Ausschalten gibt es jeweils eine Zeitverzögerung im Stromfluss, die durch den Auf- und Abbau des Magnetfeldes verursacht wird. Unter Wechselstrombedingungen kommt es bei jedem Wechsel der Stromrichtung zu diesen Verzögerungen.

Ergebnis: Eine Spule verzögert den Stromfluss gegenüber der Spannung und wirkt somit als induktiver Blindwiderstand.





### 1.3 Was sind die Auswirkungen auf das Verteilnetz?

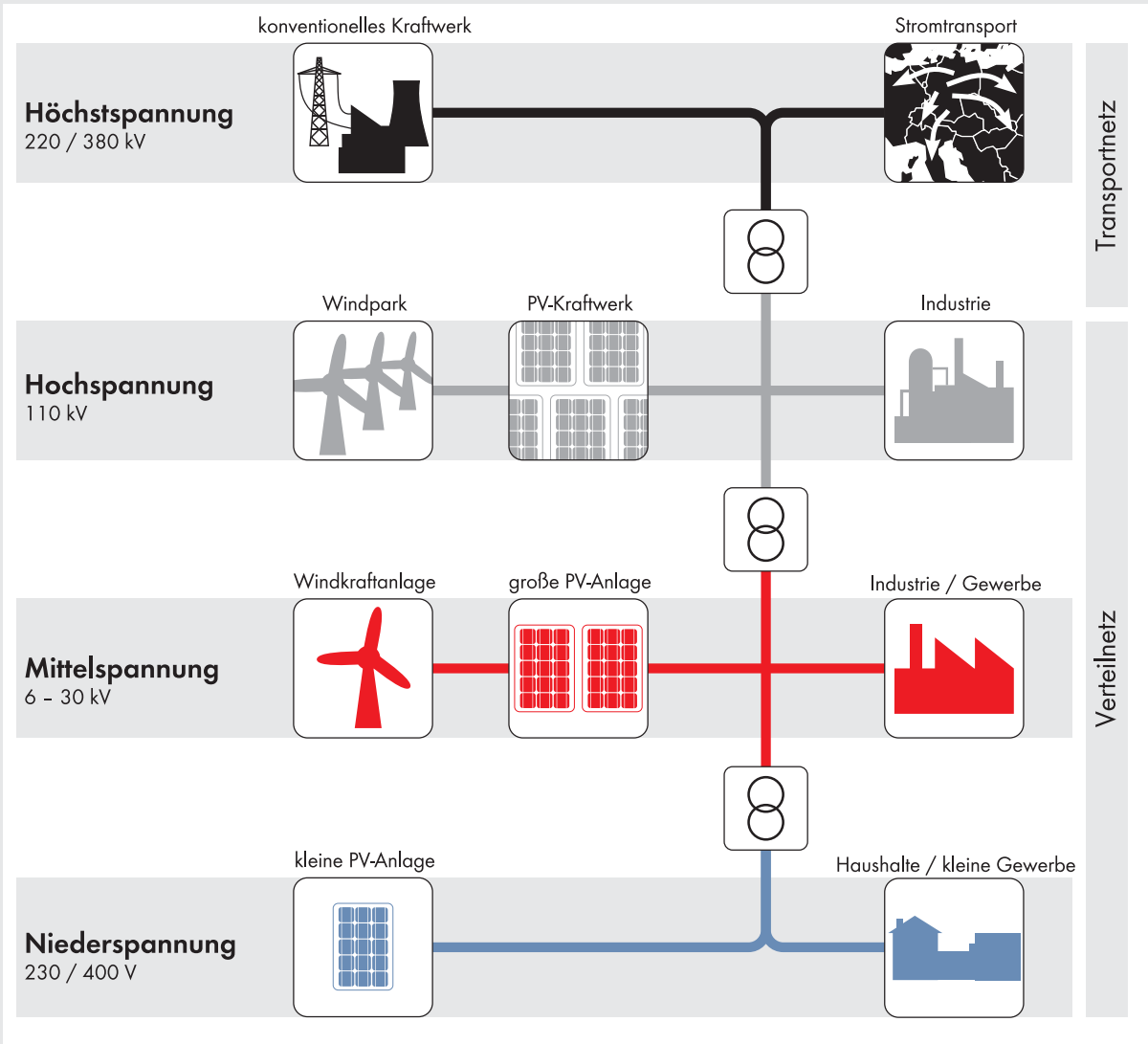
Kurz gesagt: Blindleistung belastet das Netz und die gesamte Netzinfrastruktur, ohne einen Beitrag zum Energietransport zu leisten. Im Gegensatz zur Wirkleistung, die als Nutzleistung „verbraucht“, d. h. in Bewegung, Licht oder Wärme umgesetzt wird, erbringt die Blindleistung zunächst keinen sichtbaren Nutzen im Netz. Trotzdem müssen Leitungen, Schalter, Transformatoren und sonstige Bauteile die zusätzliche Blindleistung berücksichtigen. Konkret: Sie müssen für die Scheinleistung ausgelegt werden, also für die geometrische Summe aus Wirk- und Blindleistung. Auch die ohmschen Verluste beim Energietransport entstehen in Abhängigkeit von der Scheinleistung, jede zusätzliche Blindleistung führt daher zu größeren Transportverlusten.

(Merksatz: Auch Blindströme verursachen Wirkverluste!)

Umgekehrt gilt: Kompensiert man die unvermeidlichen Phasenverschiebungen im Netz und bei den Verbrauchern, verringert man auch die Transportverluste. Zudem wird das Netz nur noch mit der Wirkleistung belastet – die frei werdenden Leitungsressourcen könnten damit für die Übertragung zusätzlicher Wirkleistung genutzt werden.

Die Einspeisung von Blindleistung (also die Verschiebung der Phasen) hat aber noch einen anderen Effekt: Eine kapazitive oder induktive Phasenverschiebung erhöht oder vermindert auch die Spannung im Netz. Mit anderen Worten: So wie die Einspeisung oder der Bezug von Wirkleistung die Frequenz beeinflusst, wirkt sich die Einspeisung oder der Bezug von Blindleistung auf die Spannung aus – allerdings abhängig von der Bauart der jeweiligen Netzebene (z. B. Kabel oder Freileitung). Für die Netzregelung ist die Kontrolle und Steuerung der Phasenverschiebung daher außerordentlich wichtig.

NETZEBENEN ...



Das Stromnetz gliedert sich in mehrere Netzebenen mit unterschiedlichen Spannungsniveaus. Das Höchstspannungsnetz verwendet 220 - 380 kV und dient dem Ferntransport sowie der internationalen Anbindung.

Die regionale Energieverteilung erfolgt über das Hochspannungsnetz mit 110 kV. Auch Wind- und Solarparks speisen meist auf dieser Netzebene ein.

Die Spannung im Mittelspannungsnetz liegt bei 6 - 30 kV, es verteilt die Energie an Großverbraucher sowie an Trafostationen des Niederspannungsnetzes. Städtische Heizkraftwerke mit Kraft-Wärme-Kopplung, größere PV-Anlagen und einzelne Windkraftanlagen speisen die erzeugte Energie auf Mittelspannungsebene ein.

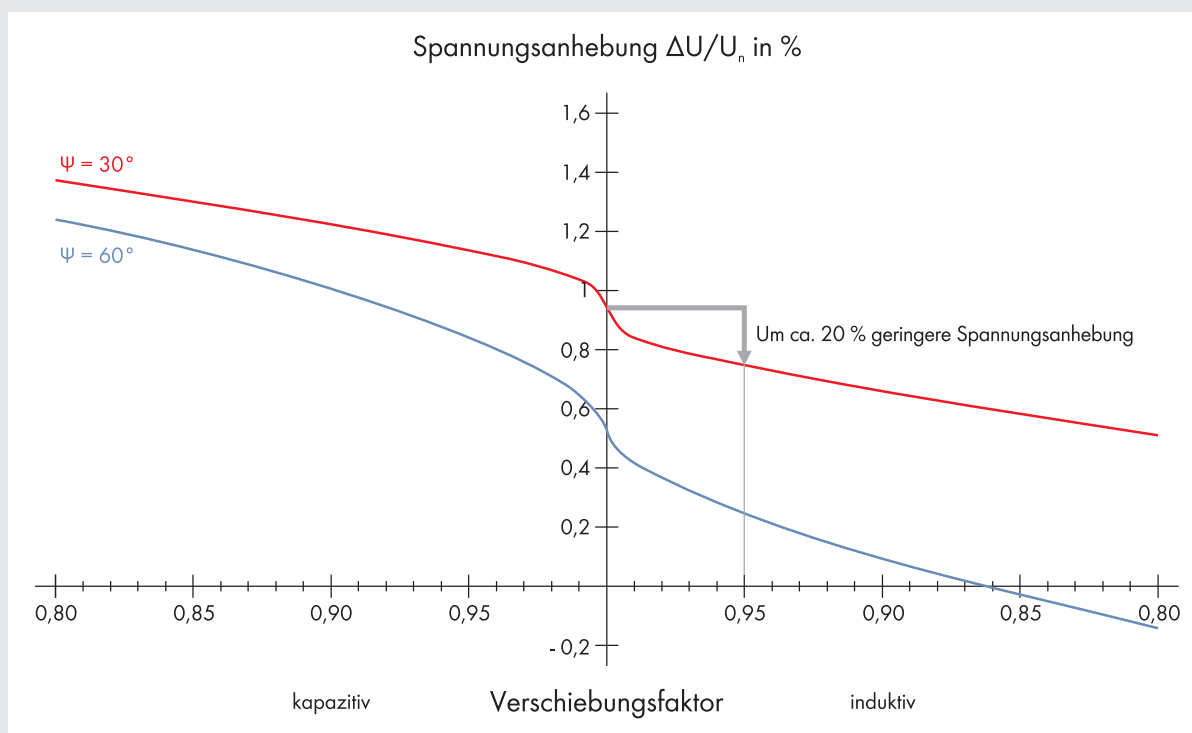
Im Niederspannungsnetz liegt die Spannung schließlich bei 400 V (dreiphasig) oder 230 V (einphasig). Es übernimmt die Verteilung der Energie an den Endverbraucher, doch auch kleine Solar-Anlagen speisen ihre Energie hier ein.

### ... UND SPANNUNGSREGELUNG

Die spannungssenkende Wirkung von Blindleistung hängt ab von der Bauart der jeweiligen Netzebene (Freileitung oder Erdkabel, Bauart des Kabels): So ist das Hoch- und Höchstspannungsnetz aufgrund des hohen Freileitungsanteils und der großen Leiterabstände fast ausschließlich durch Blindwiderstand geprägt, während auf Mittel- und Niederspannungsebene der (ohmsche) Wirkwiderstand einen zunehmend relevanten Anteil hat\*.

Auf den unteren Netzebenen hat die Einspeisung von Blindleistung daher wesentlich geringere Auswirkungen auf die Spannung als im Hochspannungsnetz. Stattdessen bewirkt hier auch die Einspeisung bzw. der Bezug von Wirkleistung einen merkbaren Anstieg der Spannung. Genau deshalb soll die Einspeisung von Blindleistung hier ebenfalls verpflichtend werden: Ihre spannungsregulierende Wirkung ist zwar vergleichsweise schwach, zur Kompensation des wirkleistungsbedingten Spannungsanstiegs jedoch unverzichtbar.

\* Das Verhältnis von Wirk- und Blindwiderstand ergibt den so genannten Netzimpedanzwinkel  $\psi$ . Er bestimmt das Maß der Spannungsänderung durch induktive oder kapazitive Blindleistung.



Beispiel: Bei einem Netzimpedanzwinkel von 30 Grad (rote Kurve, typisches Niederspannungsnetz) lässt sich die Spannungsanhebung bei Einspeisung von 27 kW PV-Leistung mit einem Verschiebungsfaktor von  $0,95_{\text{induktiv}}$  um knapp 20 Prozent verringern (von 0,94 Prozent auf 0,76 Prozent).

## 2. BLINDLEISTUNG IM VERTEILNETZ

---

### 2.1 Wie wird Blindleistung im Netz bereitgestellt?

Die in Großkraftwerken verwendeten Synchrongeneratoren können durch entsprechende Steuerung ihres Erregerstroms sowohl induktive als auch kapazitive Blindleistung zur Verfügung stellen. Aufgrund der vielen Freileitungen und Transformatoren für die unterschiedlichen Spannungsebenen hat das Verbundnetz insgesamt einen induktiven Blindwiderstand. Dazu kommt, dass ein Großteil der Verbraucher (Motoren!) ebenfalls eine induktive Phasenverschiebung verursacht. Um dem entgegenzuwirken und die dadurch absinkende Spannung wieder anzuheben, wird bereits bei der Energieerzeugung in den Großkraftwerken mit einer kapazitiven Phasenverschiebung eingespeist.

### 2.2 Wie gehen die Netzbetreiber hinsichtlich der Blindleistung mit Verbrauchern und Einspeisern um?

Gewerbliche und industrielle Großverbraucher bezahlen sowohl für Wirkenergie als auch für Blindenergie, denn aufgrund der umgesetzten Energiemengen lohnt sich hier die Installation eines speziellen Blindenergiezählers. Zudem ergibt sich für den Verbraucher die Möglichkeit, mit entsprechenden Kompensationsanlagen die z. B. von großen Elektromotoren verursachte Phasenverschiebung auszugleichen und damit den Bezug kostenpflichtiger Blindleistung zu reduzieren.

Bei Kleinverbrauchern und normalen Haushaltskunden lohnt sich die messtechnische Erfassung der Blindleistung nicht. Sie werden ausschließlich über die genutzte Wirkleistung abgerechnet, die Blindleistung ist als Pauschale im Wirkleistungstarif enthalten.

Für einspeisende PV-Anlagen war Blindleistung bislang ebenfalls kein Thema. Es galt die Vorgabe „ausschließlich Wirkleistung zählt!“. Einerseits sollte das Netz nicht mit zusätzlicher Blindleistung belastet werden, andererseits fanden Netzmanagement und Blindleistungsregelung ausschließlich bei den konventionellen Erzeugern statt.

Durch den spürbaren Ausbau der erneuerbaren Energien hat sich die Lage jedoch geändert: Dezentrale Einspeiseanlagen haben schon jetzt einen relevanten Anteil an der installierten Kraftwerksleistung – mit weiterhin steigender Tendenz. Die Aufnahmekapazität des Verteilnetzes stößt stellenweise an ihre Grenzen, so dass die Netzentlastung durch Kompensation vorhandener Blindleistung an Bedeutung gewinnt. Durch die zunehmende Einspeisung im Nieder- und Mittelspannungsnetz kann es dort aber auch zu Spannungsanhebungen kommen, die für die bisherige Betriebsweise des Netzes (Energiefluss vom Hochspannungs- zum Niederspannungsnetz / vom zentralen Erzeuger zu dezentralen Verbrauchern) problematisch sind.

Hier hilft nun ebenfalls die Einspeisung von Blindleistung: Die spannungssenkende Wirkung induktiver Blindleistung ist im Niederspannungsnetz zwar geringer als auf der Hochspannungsebene. Bei genügend großem Verschiebungsfaktor (in einer aktuellen Studie der TU München [ERzAEN09] wird ein Wert von 0,90 vorgeschlagen) kann die Spannungsanhebung aber um bis zu 30 Prozent kompensiert werden (siehe auch 1.3). Generell hat man auf Seiten der Netzbetreiber erkannt, dass Wechselrichter für die anstehenden Netzmanagement-Aufgaben geradezu prädestiniert sind – und fordert diese Systemdienstleistungen in zunehmendem Maße ein (siehe auch 3.2).

## 3. BLINDLEISTUNG UND PHOTOVOLTAIK

---

### 3.1 Inwieweit dürfen Netzbetreiber die Einspeisung von Blindleistung verlangen?

Gemäß der so genannten Mittelspannungsrichtlinie [TREaM08] können Netzbetreiber ab Juli 2010 die Einspeisung von induktiver oder kapazitiver Blindleistung mit einem Verschiebungsfaktor von maximal 0,95 verlangen (siehe auch 3.2). Tatsächlich fordern einige aber schon heute die Blindleistungseinspeisung – teilweise sogar mit einem Verschiebungsfaktor von 0,90, um Anlagen noch an gegebene Netzverknüpfungspunkte anschließen zu können.

Eine entsprechende Richtlinie für das Niederspannungsnetz befindet sich aktuell (Mitte 2009) noch in der Diskussion. Hintergrund: Momentan sind in Deutschland rund 80 Prozent der PV-Leistung im Niederspannungsnetz installiert und entsprechende Regelungen mit Blick auf die Zukunft daher dringend erforderlich. Eine aktuelle Studie der TU München [ERzAEN09] empfiehlt für diese Netzebene daher einen Verschiebungsfaktor von bis zu 0,90 (siehe auch 2.2).

### 3.2 Welche Richtlinien und Gesetze sind anzuwenden?

Die 2008 überarbeitete BDEW-Richtlinie „Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz“ [TREaM08] ist verbindlich für Anlagen, die auf Mittelspannungsebene einspeisen. Sie fordert verschiedene Systemdienstleistungen, die sich in drei Gruppen unterteilen lassen und auch zeitlich aufeinander folgen: Netzsicherheitsmanagement (als „Einspeisemanagement“ auch Bestandteil des 2008 novellierten Erneuerbare-Energien-Gesetzes [EEG]), statische Spannungshaltung und dynamische Netzstützung.

Ein wichtiger Aspekt der statischen Spannungshaltung ist dabei die Bereitstellung induktiver oder kapazitiver Blindleistung durch PV-Wechselrichter. Verbindlich sind die Vorgaben zur statischen Spannungshaltung ab Juli 2010.

### 3.3 Was ist die Zielsetzung der Richtlinien und Gesetze?

Generelles Ziel der Mittelspannungsrichtlinie und der kommenden Niederspannungsrichtlinie ist die verbesserte Netzintegration von EEG-Erzeugerleistungen. Nachdem Windkraftanlagen bereits in den vergangenen Jahren in das Netzmanagement einbezogen wurden, soll die zunehmend gewichtigere Photovoltaik nun den gleichen Weg gehen. Mit ihrer Fähigkeit, kontrolliert induktive oder kapazitive Blindleistung bereitzustellen, können PV-Wechselrichter die nutzbare Übertragungskapazität des Netzes vergrößern und dabei helfen, die Netzspannung jederzeit in den vorgegebenen Grenzen zu halten (Spannungsqualität nach EN 50160).

### 3.4 Inwieweit können PV-Wechselrichter Blindleistung bereitstellen?

Moderne Wechselrichter arbeiten mit Pulsweitenmodulation und können prinzipiell fast jede gewünschte Signalform erzeugen. Auch Phasenverschiebungen lassen sich relativ problemlos realisieren. Da von den Wechselrichtern bislang aber reine Wirkleistungseinspeisung gefordert wurde, sind die Geräte daraufhin optimiert worden. Die aktuellen SMA Wechselrichter erreichen jedoch problemlos die geforderten Verschiebungsfaktoren, einige sogar deutlich mehr (siehe auch 3.6).

### 3.5 Was sind die Auswirkungen auf die anderen Betriebsdaten?

Blindleistungsfähige Wechselrichter haben zum Teil einen geringfügig niedrigeren Umwandlungswirkungsgrad als ausschließlich für Wirkleistung ausgelegte Geräte. Andere Parameter werden jedoch nicht beeinflusst.

### 3.6 Welche Produktlösungen bietet SMA?

Alle neueren Zentral-Wechselrichter, die Sunny Mini Central Wechselrichter mit Reactive Power Control (engl. für Blindleistung) und der neue Sunny Tripower sind für die Einspeisung von Blindleistung ausgelegt. Die Sunny Central-Wechselrichter der HE-Serie erfüllen heute schon sämtliche ab Mitte 2010 geltenden Anforderungen der Mittelspannungsrichtlinie und bieten Verschiebungsfaktoren bis 0,90, Sunny Tripower und Sunny Mini Central sogar bis 0,80.

Mit der SMA Power Reducer Box gibt es auch eine Kommunikationslösung für die Vorgabe des Verschiebungsfaktors: Alternativ zur ferngesteuerten Begrenzung der Einspeiseleistung ermöglicht das Gerät die ferngesteuerte Auswahl aus maximal 16 frei definierbaren Verschiebungsfaktoren oder Blindleistungswerten (die maximalen Verschiebungsfaktoren der verwendeten Wechselrichter sind dabei zu beachten).

Die innovativen Sunny Backup-Sets von SMA gehen noch einen Schritt weiter: Immerhin muss ein Backup-System bei Ausfall des Versorgungsnetzes ein vollwertiges Inselnetz aufbauen. Der Batterie-Wechselrichter übernimmt dabei die Funktion des Netzbildners und ist für Spannung, Frequenz, Blindleistungskompensation, die Filterung von Oberschwingungen und die Einspeisung von Kurzschlussstrom verantwortlich. Er ist in der Lage, seine gesamte Nennleistung als Blindleistung abzugeben und damit die Phasenverschiebung im Inselnetz auf jeden beliebigen Wert auszuregeln. Mit einer Softwaremodifikation könnte der Sunny Backup-Wechselrichter dies auch bei vorhandener Netzspannung tun und das Niederspannungsnetz entsprechend entlasten.





### 3.7 Was fordert die Mittelspannungsrichtlinie?

Generell fordert die Mittelspannungsrichtlinie, dass Wechselrichter mit Verschiebungsfaktoren von  $0,95_{\text{kapazitiv}}$  bis  $0,95_{\text{induktiv}}$  einspeisen können. Für die Einstellung des Verschiebungsfaktors gibt es dabei mehrere Varianten:

#### a) Fixer $\cos(\varphi)$

Aufgrund seiner Mess- oder Erfahrungswerte gibt der Netzbetreiber einen festen Verschiebungsfaktor vor, typischerweise den Wert 1, um am Anschlusspunkt weder Blindleistung zur Verfügung stellen noch über das Netz von der Anlage wegtransportieren zu müssen.

#### b) Variabler $\cos(\varphi)$

Der Netzbetreiber gibt den Verschiebungsfaktor per Fernwirkanlage vor, zum Beispiel als Rundsteuersignal. Alternativ kann auch ein Zeitplan für unterschiedliche Verschiebungsfaktoren vereinbart werden, z. B. tageszeit- oder wochentagsabhängig.

#### c) Geregelter $\cos(\varphi)$ bzw. geregelte Blindleistung

Der Verschiebungsfaktor oder die eingespeiste Blindleistung werden anhand einer Kennlinie ausgeregelt – abhängig von der aktuellen Wirkleistung [  $\cos(\varphi) = f(P)$  ] oder der gemessenen Netzspannung [  $Q = f(U)$  ].

### 3.8 Wie sieht die technische Umsetzung aus?

Für die in 3.7 genannten Varianten der Blindleistungsvorgabe sind unter anderem folgende Umsetzungen denkbar:

#### a) Fixer $\cos(\varphi)$

Die Einstellung erfolgt über das Konfigurationsmenü des Wechselrichters, über die Sunny WebBox oder eine andere Serviceschnittstelle.

#### b) Variabler $\cos(\varphi)$

Die entsprechenden Sollwerte werden über einen eigenen Funk-Rundsteuerempfänger empfangen, von einer separaten Power Reducer Box ausgewertet und schließlich über die Sunny WebBox an die Wechselrichter übermittelt. Bei Einsatz eines Funk-Rundsteuerempfängers mit vier Relais lassen sich dabei bis zu 16 verschiedene Sollwerte übertragen.

#### c) Geregelter $\cos(\varphi)$ bzw. geregelte Blindleistung

Die Spannung am Netzanschlusspunkt wird über ein Messgerät erfasst. Es übersetzt den gewünschten Messbereich in ein 4-Bit-Signal, welches von der Power Reducer Box in den gewünschten Blindleistungswert umgesetzt wird. Falls die eingespeiste Wirkleistung als Regelgröße für den Verschiebungsfaktor dienen soll, kann die Regelung direkt im Wechselrichter erfolgen (entsprechende Firmware vorausgesetzt).

### 3.9 Was kostet die Blindleistungseinspeisung?

Die Höhe der Kosten ist von Fall zu Fall sehr unterschiedlich: So wird ein Funk-Rundsteuerempfänger nur dann benötigt, wenn der Netzbetreiber die Blindleistungseinspeisung kurzfristig aus der Ferne steuern möchte. In diesem Fall und für eine spannungsabhängige Regelung der Blindleistung wird zusätzlich eine SMA Power Reducer Box benötigt. Blindleistungsfähige SMA Wechselrichter sind im Preis dagegen identisch mit den bisherigen

Modellen. Davon abgesehen wirkt sich die geänderte Dimensionierung der Wechselrichter auf die Gesamtkosten der Anlage aus: Um die volle Wirkleistung des PV-Generators mit Phasenverschiebung einspeisen zu können, sind entweder mehr oder leistungsfähigere Wechselrichter erforderlich. Der benötigte Leistungsaufschlag des Wechselrichters ergibt sich dabei aus dem Verschiebungsfaktor: Bei einem  $\cos(\varphi)$  von 0,95 benötigt der Wechselrichter eine Scheinleistung von rund 105 Prozent der einzuspeisenden Wirkleistung (siehe auch 4.1).





## 4. BLINDLEISTUNG IN DER PV-ANWENDUNG

### 4.1 Wie ändert sich die Anlagenplanung, wenn vom Netzbetreiber Blindleistung gefordert wird?

Selbstverständlich muss die Abgabe von Blindleistung bei der Auslegung einer PV-Anlage berücksichtigt werden. Dabei spielt der gewünschte oder geforderte Verschiebungsfaktor die entscheidende Rolle: Er bestimmt die Höhe der Scheinleistung und damit die benötigte Wechselrichterleistung. So entstehen bei einem  $\cos(\varphi)$  von 0,95 zusätzlich rund 33 Prozent Blindleistung, was in der geometrischen Summe eine Scheinleistung von etwa 105 Prozent der angebotenen PV-Wirkleistung ergibt. Um 100 kW Wirkleistung mit dieser Phasenverschiebung einzuspeisen, wird daher ein Wechselrichter mit 105 kVA Nenn-Scheinleistung benötigt (siehe auch Beispielrechnung unter 1.1).

Wichtig: Die vom Wechselrichter aufgenommene Wirkleistung bleibt dabei in voller Höhe erhalten. Die jeweilige Blindleistung entsteht zusätzlich im Wechselrichter, weshalb er entsprechend größer dimensioniert sein muss. Ist dies nicht der Fall, kann die angebotene Wirkleistung nicht vollständig aufgenommen werden. Aus der gegebenen Scheinleistung des Wechselrichters und dem gewünschten Verschiebungsfaktor ergibt sich dann eine geringere zur Verfügung stehende Wirkleistung.

Mit der kostenlosen SMA Planungssoftware „Sunny Design“ lassen sich ab der Version 1.50 übrigens auch sämtliche Möglichkeiten der Blindleistungseinspeisung berechnen (siehe auch 4.3).

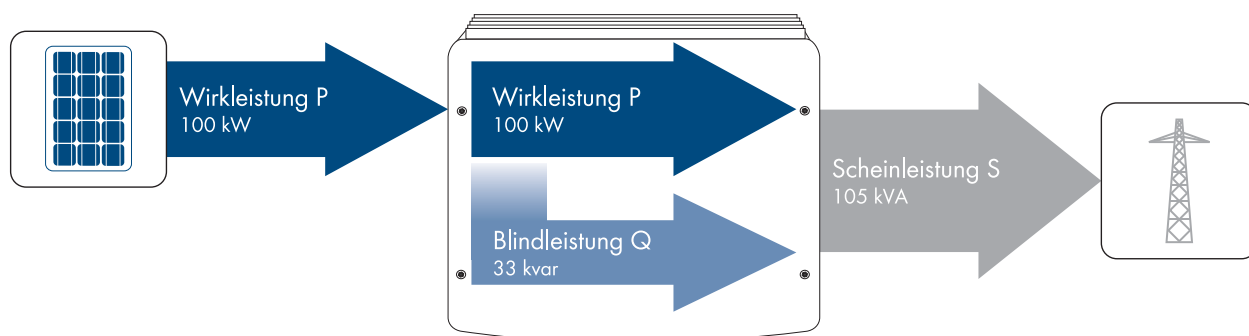


Abb. 3: Die Wirkleistung des PV-Generators bleibt in voller Höhe erhalten, der Wechselrichter muss allerdings auf die größere Scheinleistung dimensioniert werden.

### 4.2 Hat die Blindleistungseinspeisung auch Vorteile für den Anlagenbetreiber?

In bestimmten Konstellationen ist die Einspeisung von Blindleistung für den Anlagenbetreiber durchaus vorteilhaft. Denkbar ist, dass eine Anlage nur wenig Wirkleistung einspeisen kann, da die Netzspannung andernfalls die zulässigen Werte überschreitet und die Wechselrichter sich vom Netz trennen. Vor allem bei der Einspeisung in das (überwiegend ohmsche) Niederspannungsnetz kann dieser Fall eintreten, denn hier wirkt sich auch die Wirkleistungseinspeisung merklich auf die Netzspannung aus. Bei Anlagen unter 30 kWp Leistung ist dies zwar ein Problem des Netzbetreibers, der ja einen ausreichend dimensionierten Einspeisepunkt zur Verfügung stellen muss. Bei größeren Anlagen gilt es jedoch die gesamtwirtschaftlich günstigste Lösung zu finden – egal, ob auf Kosten des Anlagen- oder des Netzbetreibers.

Die Spannungshaltung über Einspeisung von Blindleistung ist hier unter Umständen die günstigste Alternative: Mit einer passenden Phasenverschiebung durch den Wechselrichter lässt sich die Spannungserhöhung am Netzanschlusspunkt unter Umständen so weit kompensieren, dass eine Verletzung der Spannungskriterien sicher verhindert wird (siehe 1.3). Damit kann überflüssiger Netzausbau (zu Lasten des Netzbetreibers) oder die Wahl eines entfernteren Netzverknüpfungspunktes (zu Lasten des Anlagenbetreibers) vermieden werden.

Fazit: Für die Blindleistungsabgabe muss zwar in zusätzliche Wechselrichter-Leistung investiert werden. Trotzdem lohnt sich der Aufwand, wenn ansonsten deutlich weniger oder gar keine Wirkleistung eingespeist werden könnte oder ein anderer Netzverknüpfungspunkt gewählt werden müsste.

### 4.3 Gibt es Planungssoftware, die Blindleistungseinspeisung berücksichtigt?

Die SMA Planungssoftware Sunny Design ist ab Version 1.50 in der Lage, Blindleistung in der Anlagenplanung zu berücksichtigen (kostenloser Download unter [www.SMA.de](http://www.SMA.de)). Alle blindleistungsfähigen SMA Wechselrichter einschließlich des neuen Sunny Tripower stehen hierbei zur Verfügung. Wird bei einer gegebenen Auslegung der Verschiebungsfaktor vom Standardwert 1 zum Beispiel auf 0,95 geändert, berechnet das Programm automatisch die hierfür benötigte (größere) Wechselrichter-Scheinleistung.

### 4.4 Wie kann es sein, dass eine PV-Anlage mehr Blind- als Wirkleistung einspeist?

Wie in 1.2 beschrieben verursachen nahezu alle Bauteile in elektrischen Stromkreisen eine Phasenverschiebung in die eine oder andere Richtung. Bei größeren Solaranlagen kann sich vor allem die kapazitive Wirkung der AC-Leitungen bemerkbar machen, die etwa von den Zentral-Wechselrichtern zum Netzanschlusspunkt führen. Sie ist besonders ausgeprägt bei Verwendung so genannter Sektorkabel und dabei weitgehend unabhängig von der Einspeiseleistung. Über einen induktiven  $\cos(\varphi)$ -Offset in den Wechselrichtern kann die Phasenverschiebung kompensiert werden – die Höhe der verfügbaren Kompensations-Blindleistung hängt jedoch von der tageszeitlich schwankenden PV-Leistung ab. Bei geringer Einstrahlungsintensität und entsprechend geringer Blindleistungsabgabe kann sich am Netzanschlusspunkt daher eine starke kapazitive Phasenverschiebung ergeben – unter Umständen auch ein  $\cos(\varphi)_{\text{kapazitiv}}$  kleiner als 0,50. In diesem Moment wäre die Blindleistung größer als die (geringe) Wirkleistung.

## 5. LITERATUR

---

**[TREaM08]** Technische Richtlinie: Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz (Richtlinie für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz), BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V., Berlin, Juni 2008

[www.vde.com/de/fnn/dokumente/documents/rl\\_ea-am-ms-netz\\_bdew2008-06.pdf](http://www.vde.com/de/fnn/dokumente/documents/rl_ea-am-ms-netz_bdew2008-06.pdf)

**[ERzAEN09]** Empfehlung zur Richtlinie zum Anschluss von Erzeugungsanlagen an das Niederspannungsnetz, Dipl.-Ing. Georg Kerber / TU München, Mai 2009

[www.hsa.ei.tum.de/Publikationen/2009/2009\\_Empfehlung\\_Richtlinie\\_Niederspannung.pdf](http://www.hsa.ei.tum.de/Publikationen/2009/2009_Empfehlung_Richtlinie_Niederspannung.pdf)

**[EEG]** Veröffentlichung aus dem Bundesgesetzblatt zur EEG Novelle

[www.eeg-aktuell.de/fileadmin/user\\_upload/Downloads\\_Politik/EEG\\_2009\\_BGBI\\_2008\\_2074.pdf](http://www.eeg-aktuell.de/fileadmin/user_upload/Downloads_Politik/EEG_2009_BGBI_2008_2074.pdf)

Titelbild mit freundlicher Genehmigung des Elektromuseums Erfurt

**SMA Solar Technology AG**

**www.SMA.de**

Sonnenallee 1  
34266 Niestetal  
Tel.: +49 561 9522 0  
Fax: +49 561 9522 100  
E-Mail: info@SMA.de

