

Die Rolle der Blindleistung

F. Kever, Niestetal

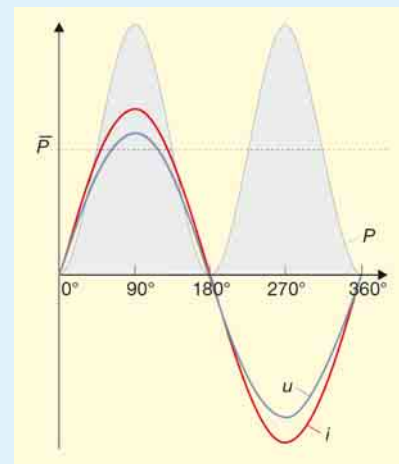
Die Fähigkeit zur Bereitstellung von Blindleistung ist zwar nur eine von vielen Anforderungen der neuen Regelwerke zur besseren Netzintegration. Doch das Thema Blindleistung ist geradezu prädestiniert für Missverständnisse, was die physikalischen Grundlagen, die technischen Zusammenhänge und nicht zuletzt die Auswirkungen auf die Anlagenplanung angeht.

1 Was Blindleistung ist

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 wird es jedoch komplizierter, denn Stärke und Richtung von Stromfluss und Spannung ändern sich hier regelmäßig. Im öffentlichen Stromnetz haben beide einen sinusförmigen Verlauf mit einer Frequenz von 50 Hz. Das Produkt aus dem pulsierenden

Strom und der pulsierenden Spannung ergibt folglich eine pulsierende Leistung. Diese Leistung kann 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 (Bild 1). Bei einer Phasenverschiebung von 90° oder ¼ Periode (Maximum des Stroms beim Nulldurchgang der Spannung) nimmt die Wirkleistung 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“ (Bild 2). Bei geringeren Phasen-



1 Reine Wirkleistung

Wenn Strom i und Spannung u phasengleich sind, ergibt sich eine zwar schwankende, aber immer positive Leistung

verschiebungen ist die Leistungsschwingung nur etwas unter die Nulllinie verschoben. In diesem Fall ergibt sich eine Mischung von Blind- und Wirkleistung. Generell gilt aber: Nur die Wirkleistung ist nutzbare Leistung. Mit ihr lassen sich Maschinen, Heizstrahler oder Lampen betreiben. Blindleistung verbraucht sich nicht und kann auch nicht in Arbeit umgesetzt

Autor

Felix Kever ist Leiter der Stabsstelle „Technologiekommunikation“ bei der SMA Solar Technology AG, Niestetal.

HENSEL

Sonnenklar: Energie und mehr!

ENYSUN lenkt die Kraft der Sonne für Ihre Photovoltaik-Anlagen. Professionell und smart dank Vorkonfektionierung. Sicher durch höchste Materialqualität. Normgerecht durch Hensel-Know-how.

- Generator-Anschlusskästen und Wechselrichter-Sammler für PV-Anlagen bis DC 1000 V für jede Systemart: Grid, On-Grid und Off-Grid
- Freischaltstellen für Erzeugungsanlagen nach VDE-AR-N 4105
- Schutzart IP 65, Schutzklasse II, schutzisoliert
- Entsprechen bereits heute den Anforderungen des neuen Entwurfs der DIN VDE 0100-712

NEU

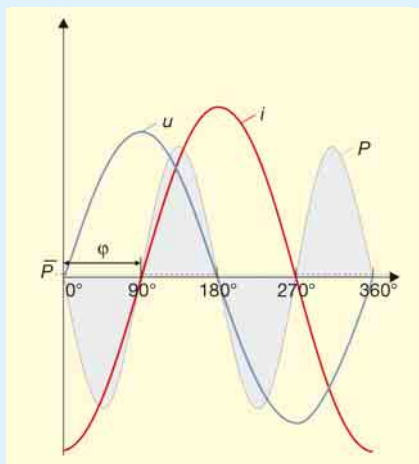


Gustav Hensel GmbH & Co. KG
D-57368 Lennestadt · www.hensel-electric.de

PASSION FOR POWER.

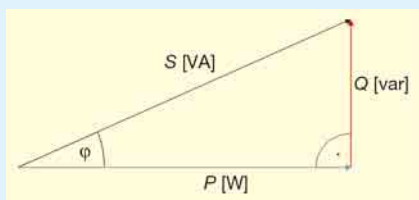
Besuchen Sie uns auf der Intersolar EUROPE in München, vom 13.-15.06.2012
Halle C3, Stand 170

ENYSUN



2 Reine Blindleistung

Bei einer Phasenverschiebung von 90° zwischen i und u ist der Durchschnittswert der Wirkleistung null



3 Leistungsdreieck

In der geometrischen Addition ergeben Wirk- und Blindleistung die sogenannte Scheinleistung: $S^2 = P^2 + Q^2$

werden. Stattdessen pendelt sie im Stromnetz hin und her – und belastet es dadurch zusätzlich.

In der Summe ergeben Wirk- und Blindleistung die sogenannte Scheinleistung. Dabei ist zu beachten, dass sie nicht arithmetisch addiert werden sondern geometrisch: Wirk- und Blindleistung bilden die Katheten eines rechtwinkligen Dreiecks, die Hypotenuse entspricht der Scheinleistung (Bild 3). 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 (s. a. Abschnitt 3).

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. Wenn Erzeuger Blindleistung liefern, wird auch von übererregtem Betrieb gesprochen (bei Blindleistungsbezug entsprechend von untererregtem Betrieb).

Die Phasenverschiebung wird in Winkelgrad angegeben (eine Periodendauer der Sinus-schwingung entspricht 360°), den Phasenwinkel bezeichnet man mit dem griechischen Buchstaben φ (sprich „phi“). Die Richtung der Verschiebung wird durch den Zusatz „kapazitiv“

oder „induktiv“ ausgedrückt. Meist rechnet man aber mit dem Verschiebungsfaktor (Leistungsfaktor) $\cos \varphi$, denn damit ergibt sich ein sehr einfacher Zusammenhang zwischen Wirk- und Scheinleistung: Ein Wert von 0,95 bedeutet, dass 95% der Scheinleistung als Wirkleistung nutzbar sind – der Rest „steckt“ in der Blindleistung.

Er entsteht durch geometrische Subtraktion und beträgt daher nicht etwa fünf, sondern in diesem Fall rund 31% der Scheinleistung. Umgekehrt betrachtet ist bei einem $\cos \varphi$ von 0,95 die Scheinleistung um 5,26% größer als die gegebene Wirkleistung (Scheinleistung = Wirkleistung geteilt durch Verschiebungsfaktor).

2 Wie Blindleistung entsteht

Blindleistung wird durch Blindwiderstände erzeugt – die sogenannten 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 Hochspannungs-Freileitungen 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.

3 Wie sich Blindleistung auf das Verteilnetz auswirkt

Blindleistung belastet das Netz und die gesamte Netzinfrastruktur, ohne einen Beitrag zum Energietransport zu leisten. Im Gegensatz zur Wirkleistung, die als Nutzleistung 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

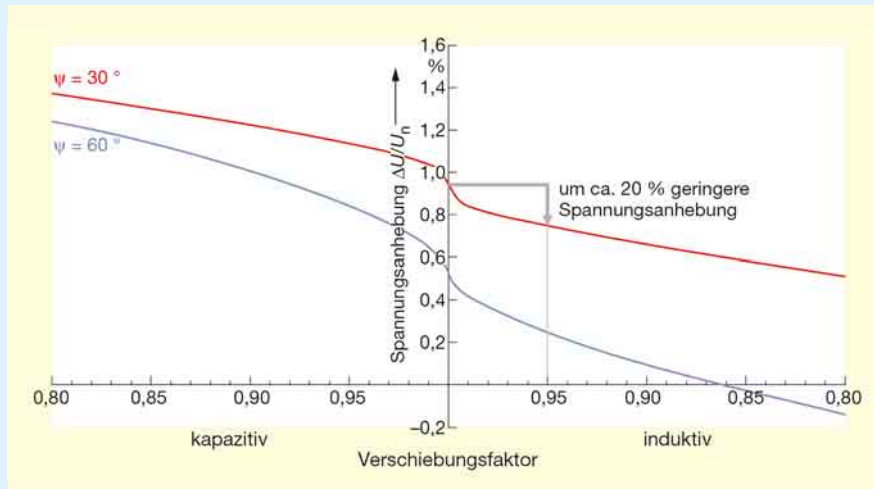
Scheinleistung ausgelegt werden, also für die geometrische Summe aus Wirk- und Blindleistung. Auch die ohmschen Verluste beim Energietransport entstehen in Abhängigkeit von der Scheinleistung, jede zusätzliche Blindleistung führt daher zu größeren Transportverlusten. (Merksatz: Auch Blindströme verursachen Wirkverluste!) Umgekehrt gilt: Kompensiert man die unvermeidlichen Phasenverschiebungen im Netz und bei den Verbrauchern, lassen sich auch die Transportverluste verringern. Zudem wird das Netz nur noch mit der Wirkleistung belastet – die frei werdenden Leitungsressourcen könnten damit für die Übertragung zusätzlicher Wirkleistung genutzt werden. Die Bereitstellung von Blindleistung (also die bewusste Verschiebung der Phasen) lässt sich aber auch zur Regulierung der Netzspannung nutzen, denn eine kapazitive oder induktive Phasenverschiebung erhöht oder vermindert die Spannung im Netz. Mit anderen Worten: Sowie die Einspeisung oder der Bezug von Wirkleistung die Frequenz beeinflussen, wirkt sich die Abgabe oder der Bezug von Blindleistung auf die Spannung aus – allerdings abhängig von der Bauart der jeweiligen Netzebene (z. B. Kabel oder Freileitung). Die Kontrolle und Steuerung der Phasenverschiebung ist daher auch für die Netzregelung außerordentlich wichtig.

4 Wie Blindleistung im Netz bereitgestellt wird

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 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.

5 Blindleistungsfähige Wechselrichter

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 einen Blindwiderstand geprägt, während auf Mittel- und Niederspannungsebene der (ohmsche) Wirkwiderstand einen zunehmend relevanten Anteil hat. Auf den unteren Netzebenen hat die Abgabe von Blindleistung daher wesentlich geringere



4 Mehr PV-Leistung ins Netz durch Blindleistungsfähige Wechselrichter

Bei einem Netzimpedanzwinkel von 30° (typisches Niederspannungsnetz) lässt sich die Spannungsanhebung bei Einspeisung von 27 kW PV-Leistung mit einem Verschiebungsfaktor von 0,95 induktiv um knapp 20 % verringern (von 0,94 % auf 0,76 %)

Auswirkungen auf die Spannung als im Hochspannungsnetz. Stattdessen bewirkt hier auch die Abgabe von Wirkleistung einen merkbaren Anstieg der Spannung. Genau deshalb ist die Bereitstellung von Blindleistung auf der Niederspannungsebene ab einer Anlagenleistung von 3,68 kVA ebenfalls verpflichtend geworden: Ihre spannungsregulierende Wirkung ist zwar vergleichsweise schwach, zur Kompensation des wirkleistungsbedingten Spannungsanstiegs jedoch unverzichtbar Bild 4.

5.1 Bereitstellung von Blindleistung

Durch den Einsatz blindleistungsfähiger Wechselrichter können deutlich mehr PV-Anlagen die vorhandene Infrastruktur des Niederspannungsnetzes nutzen. Daher wird Blindleistungsabgabe nun auch auf dieser Spannungsebene gefordert. Hintergrund: Die Einspeisung von Wirkleistung in das eher von ohmscher Charakteristik geprägte Niederspannungsnetz führt grundsätzlich zu einem Anstieg der Spannung

am Einspeisepunkt. Bei längeren Netzausläufern kommt hinzu, dass die Spannung schon transformatorseitig höher gestellt werden muss, damit beim Verbraucher noch die untere Spannungsgrenze von 207 V eingehalten wird. Soll aufseiten des Verbrauchers nun Wirkleistung eingespeist werden, ohne dass gleichzeitig in ähnlicher Größenordnung Leistung aufgenommen wird, kann es zu einer Überschreitung der oberen Spannungsgrenze am Einspeisepunkt kommen (Bild 5). Durch die gleichzeitige Aufnahme induktiver Blindleistung können Wechselrichter die Spannung am Netzanschlusspunkt jedoch senken.

Ab einer Anlagenscheinleistung von 3,68 kVA fordert die VDE-Anwendungsregel 4105 daher die Fähigkeit der Wechselrichter, mit Verschiebungsfaktoren bis 0,95 induktiv/kapazitiv einzuspeisen. Übersteigt die Anlagenleistung 13,8 kVA, müssen sogar Verschiebungsfaktoren bis 0,9 möglich sein.

Wichtig: Bei der Erweiterung oder Nachrüstung bestehender Anlagen zählt die bereits vorhandene Anlagenleistung mit. Für den neu hinzugefügten Anlagenteil gelten damit die Grenzwerte, die nach der neuen Gesamtleistung der Anlage bemessen sind. Im Gegensatz zur Mittelspannungsrichtlinie verzichtet die VDE-Anwendungsregel jedoch auf die Anforderung der ferngesteuerten, variablen $\cos\phi$ -Vorgabe. Der jeweilige Sollwert ist entweder fest vor-

Photovoltaik von MHH:

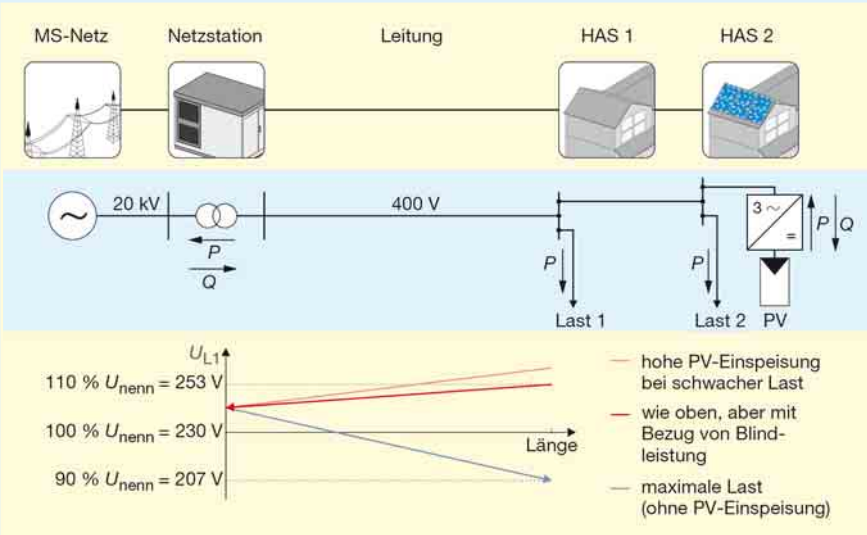
So sicher, wie sich die Erde um die Sonne dreht, so beständig arbeiten wir für Sie!
Und das seit 20 Jahren.

Bei uns dreht sich alles immer nur um Photovoltaik. Von der Planung bis zur Fertigstellung. Mehr über uns auf www.mhh-solartechnik.de

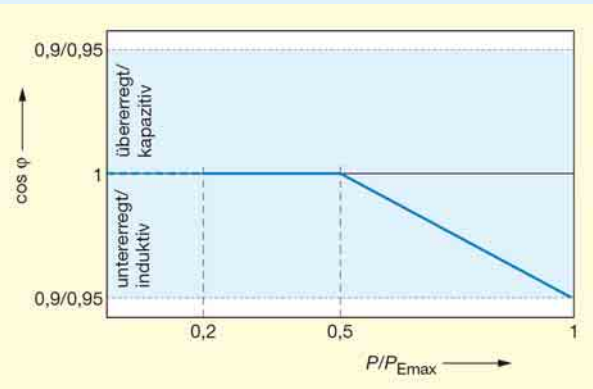
 **MHHsolartechnik**
Photovoltaik. Aber sicher!

inter solar
connecting solar business | EUROPE
Halle B4.110

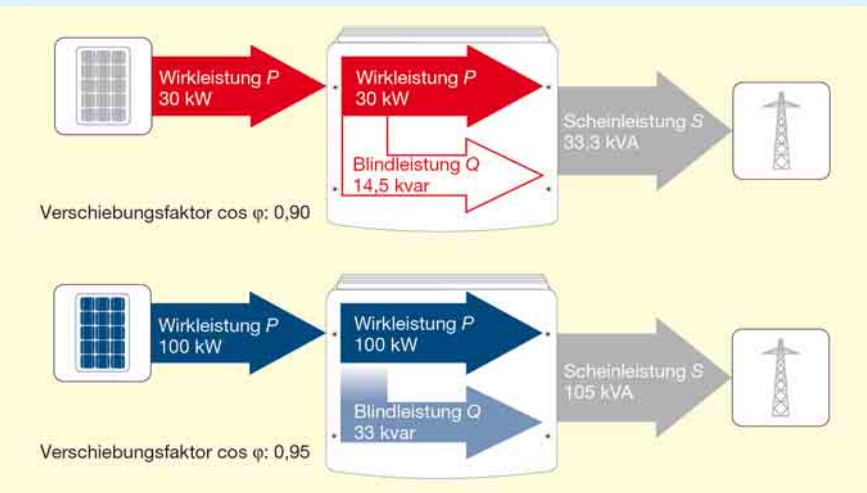
6 Was das Einspeisen von Blindleistung kostet



5 Die notwendige Spannungsstellung kann zum Überschreiten der Maximalspannung am Einspeisepunkt führen. Die Lösung: induktive Blindleistung



6 Oberhalb von 50% ihrer Nennleistung müssen Erzeugungseinheiten zur Spannungs-senkung induktive Blindleistung aufnehmen



7 Die Wirkleistung des PV-Generators bleibt in voller Höhe erhalten
Der Wechselrichter muss allerdings auf die größere Scheinleistung dimensioniert werden

Die Höhe der Kosten ist von Fall zu Fall sehr unterschiedlich: So kommt ein Funk-Rundsteuerempfänger auch in großen PV-Anlagen nur dann zum Einsatz, wenn der Netzbetreiber die Blindleistungseinspeisung kurzfristig aus der Ferne steuern möchte. In diesem Fall wird für Anlagen mit SMA-Produkten zusätzlich eine sogenannte Power Reducer Box benötigt. Wird zusätzlich die Ausregelung der gewünschten Blindleistung am Netzverknüpfungspunkt gewünscht, ist eine SPS-basierte Steuerungslösung wie der „Power Plant Controller“ erforderlich.

Blindleistungsfähige Wechselrichter verursachen dagegen keine Zusatzkosten, da diese Funktionalität allein schon wegen der entsprechenden Anschlussregeln bei nahezu allen SMA-Geräten serienmäßig vorhanden ist. 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. Bei einem geforderten Verschiebungsfaktor von 0,95 macht dies aber weniger als ein Prozent der Anlagenkosten aus.

7 Anlagenplanung

Selbstverständlich muss die Abgabe von Blindleistung bei der Auslegung einer PV-Anlage berücksichtigt werden. Dabei spielt der gewünschte oder geforderte Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ 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% Blindleistung, was in der geometrischen Summe eine Scheinleistung von etwa 105% der angebotenen PV-Wirkleistung ergibt. Um 100 kW Wirkleistung mit dieser Phasenverschiebung einzuspeisen, wird daher ein Wechselrichter mit 105 kVA Nenn-Scheinleistung benötigt.

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 (Bild 7). 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 seit der Version 1.5 sämtliche Möglichkeiten der Blindleistungseinspeisung berechnen. ■

gegeben, oder ergibt sich in Abhängigkeit von der momentan abgegebenen Wirkleistung gemäß einer standardisierten Kennlinie (Bild 6): Bis zu einer Wirkleistung in Höhe seiner halben Nennleistung muss der jeweilige Wechselrichter ohne Phasenverschiebung einspeisen.

Danach ist sie stetig zu erhöhen, bis er bei voller Nennleistung mit dem für die jeweilige Anlage gültigen, maximalen Verschiebungsfaktor (untererregt) arbeitet. Diese Standard-Kennlinie soll bereits im Auslieferungszustand der Geräte eingestellt sein.