

## Netzeinsparungsmöglichkeiten und Erfahrungen einer realen Q(U) – Einführung bei PV Wechselrichtern im Bundesland Vorarlberg

Smart Grids Week am 23.05.2014 in Graz

DI Christian Elbs  
Vorarlberg Netz



## Warum sich als Netzbetreiber mit DEAs beschäftigen?

Vorarlberg Netz

illwerke vkw

- » **Energiewende politisch gefordert**
- » **Image des Unternehmens**
- » **Kosten PV ↓    Energiepreis ↑**
  - weiterer PV – Ausbau
- » **Netzausbau für DEAs verursacht Zusatzkosten**
- » **Verschiedene Maßnahmen können Zusatzkosten reduzieren**

SGW Graz, 23.5.2014, Elbs

illwerke vkw

Seite 2

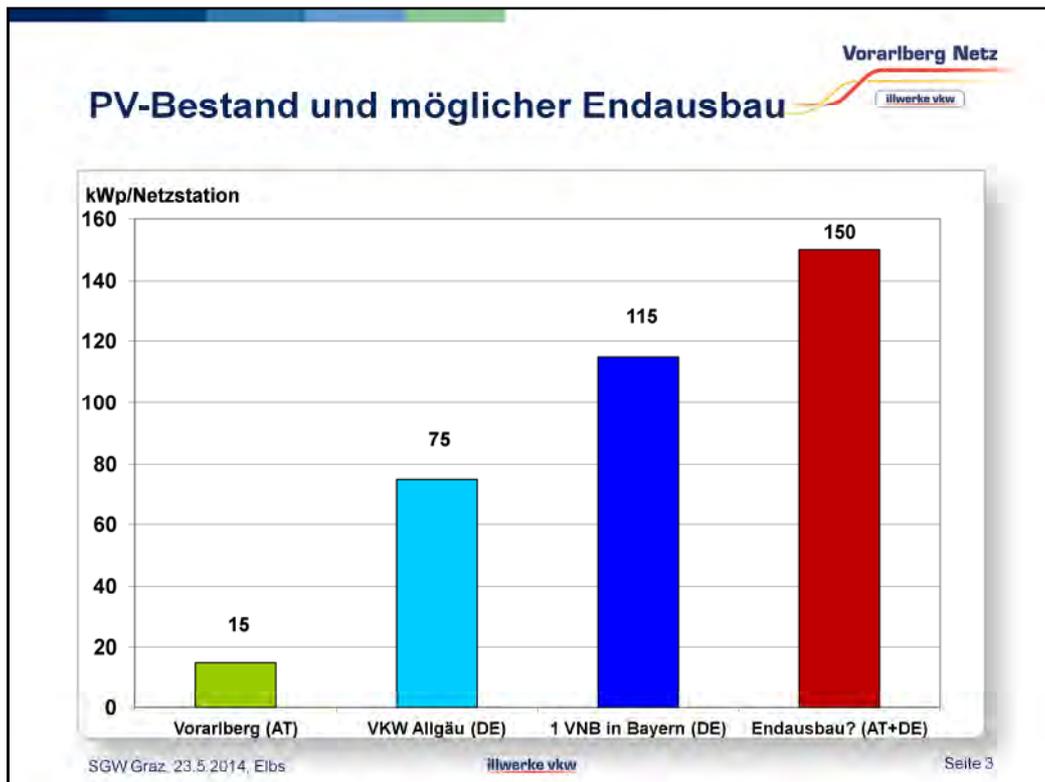
Warum beschäftigen sich aktuell alle Verteilernetzbetreiber mit dezentraler Einspeisung (DEAs)?

Einfach einmal, weil die Menge an Anlagen inzwischen systemrelevant ist. Die gewohnt zuverlässige Funktion der Netze ist zu erhalten, das wird zu Recht erwartet. Die Politik will die Energiewende in Europa, in Österreich und besonders auch in Vorarlberg, wo von allen Landtagsfraktionen einstimmig 101 enkeltaugliche Maßnahmen beschlossen wurden, die z.B. eine Verfünfachung der PV auf Basis 2009 bis 2020 beinhaltet. Aktuell liegt die PV-Entwicklung Vorarlberg aber eindeutig noch über diesen Zielen.

Neu ist der Trend zu Kleinanlagen (typisch 5kVA) mit Eigenverbrauchsmaximierung. Batterieanlagen dürften auch kommen.

Damit ändert sich im Netz fundamental viel in Planung und Betrieb.

Die neuen Anforderungen an die Netze bedeuten Zusatzkosten. Die ganze Branche arbeitet intensiv im Verband Oesterreichs Energie daran, die Kostenzunahme zu dämpfen, um die unter Kostendruck stehende Energiewende nicht noch zusätzlich mit hohen Netzkosten zu erschweren. Wir Netzbetreiber stellen und dieser Aufgabe, aber sie ist vielschichtig und kompliziert.



Wie viel PV wird noch kommen? Niemand weiß es genau.

15kWp je Netzstation sind aktuell im Schnitt in Vorarlberg angeschlossen. In dieser Größenordnung liegen auch andere österr. Bundesländer.

In Bayern gibt es die weltweit höchste PV-Dichte und die Vorarlberger Kraftwerke VKW versorgen dort ein Gebiet im Westallgäu. Hier ist mit 75kWp schon der 5 fache Wert installiert.

Andere NB in Bayern liegen schon über 100kWp und die Sättigung könnte durchaus dort und mancherorts auch in Österreich bei z.B. 150kWp liegen.

Damit ergibt sich ein möglicher Faktor 10, der die Netzplanungen der Unternehmen stark beschäftigt.

Kosteneffiziente Maßnahmen sind das Gebot der Stunde und wir haben auch die Chance, die Erfahrungswerte aus Deutschland zu nutzen.



## Strategien zur Beherrschung des Zuwachses von DEAs

- 1) Netzverstärkung
- 2) Regelbare ON -Trafos (rONT)
- 3) Wirkstromkompoundierte Spannungsregelung (im UW)
- 4) MS/MS-Längsregler
- 5) Smart Grids (z.B. Großes Walsertal)  
(Intelligente Spannungsregelung mit zusätzlichen Messstellen)
- 6) Kappung der Einspeisespitzen (Wirkenergieverlust < 5%)
- 7) Kontrollierter Blindstrombezug/-einspeisung bei DEAs
  - $\cos \varphi$  - FixwertEinstellung
  - $\cos \varphi (P)$  - Regelung gemäß VDE AR-N 4105
  - Q (U) Regelung beim Wechselrichter in der Kundenanlage
  - Q-Vorgabe durch den VNB gleitend über eine Schnittstelle

SGW Graz, 23.5.2014, Elbs illwerke vkw Seite 4

Ein ganzer Blumenstrauß an Maßnahmen bietet sich an. Viel Fachwissen ist notwendig, um die richtige Wahl zu treffen.

Die beiden Maßnahmen im roten Kasten werden in Vorarlberg vorrangig umgesetzt. Die Kosteneffizienz wird vergleichsweise hoch eingeschätzt – viel zusätzliche PV-Anschlusskapazität zu gedämpften Mehrkosten im Netz

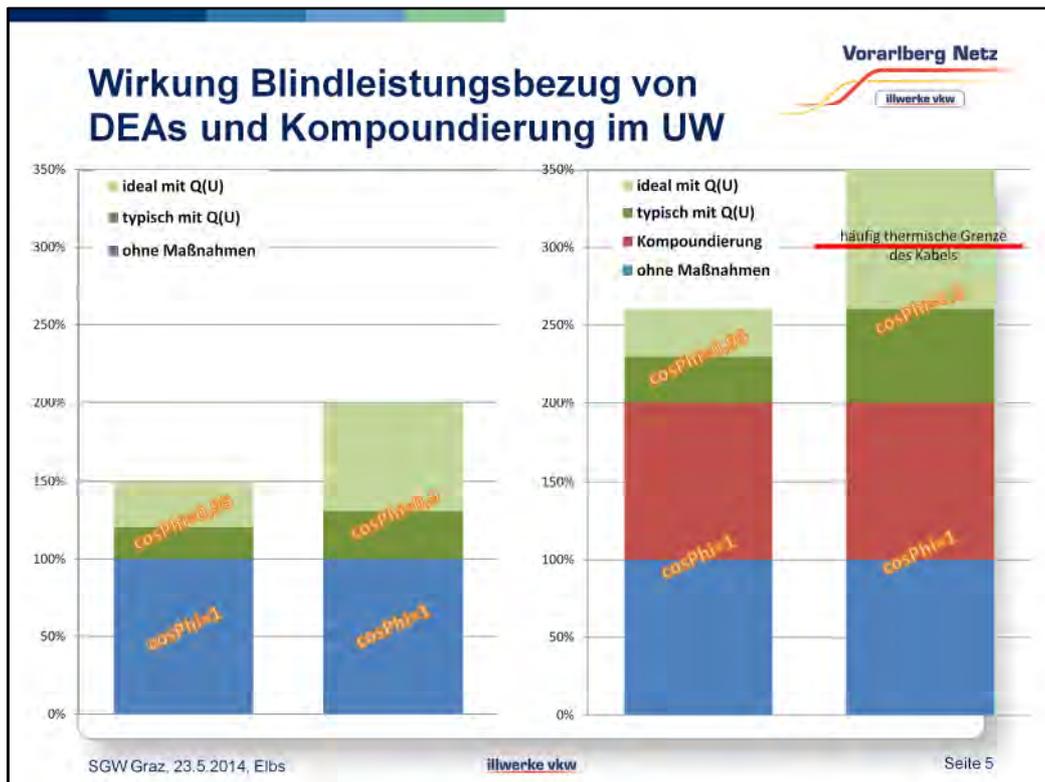
Die klassische Netzverstärkung ist vergleichsweise teuer und für das Hauptproblem der Spannungsanhebung leider relativ unergiebig. Trotzdem wird man nicht ohne sie auskommen.

Netzbetreiberseitig ist in Bayern die wirkstromkompoundierte Spannungsregelung sehr verbreitet. Damit wird meist viel recht kostengünstig erreicht.

Bei den Erzeugungsanlagen kann netzfreundliche Einspeisung durch Blindleistungsregelstrategien insbesondere bei PV-Wechselrichtern erreicht werden. Auch in Vorarlberg wird auf die Q(U)-Regelstrategie gesetzt, um den Blindleistungshaushalt zu schonen.

Andere Maßnahmen können im Einzelfall auch zweckmäßig sein.

In Deutschland wegen dramatischem PV-Zubau bereits gesetzlich verankert ist die Kappung der Einspeisespitzen durch Drosselung der Anlagen auf 70% Pmax. Wegen der geringen Vollaststunden bei PV ist die gekappte Energiemenge aber gering (unter 5%). Auch der österreichische Regulator vertritt die Meinung, dass nicht jede letzte kWh um jeden Preis ins Netz muß, da zu teuer.



Wenn man die Ergiebigkeit des Blindleistungsbezuges von dezentralen Erzeugungsanlagen betrachtet, kann keine allgemein gültige Aussage getroffen werden.

Je nach Netzsituation kann sie stark variieren:

Bei sehr schwachen Querschnitten ist es tendenziell weniger, als bei starken.

In einem typischen Verteilnetz kann aber davon ausgegangen werden, dass bei  $\cos\Phi=0,9$  ca. 30% mehr möglich ist.

Bei hohen Querschnitten ist auch eine Verdoppelung möglich.

Beim Einsatz einer Wirkstromkompoundierung im Umspannwerk kann bei meist vorhandener homogener PV-Verteilung das reservierte Spannungsband für Spannungsanhebungen in der Niederspannung von 3% auf 6% angehoben werden.

Bei ungünstiger Netzstruktur kann es sein, dass dieser Wert nicht erreicht wird. Bei einem doppelten Spannungsband für Einspeiser in Niederspannung ist auch ca. die doppelte Einspeiseleistung möglich (Vereinfachende Annahme: Minimallast = 0).

Die Kombination dieser Strategien ermöglicht es in häufigen Fällen, die Kabel thermisch auszulasten, bevor Spannungsbandverletzungen auftreten.

## Q(U)-Feldtest bei Vorarlberg Netz mit der TU München



**Thema: Stabilitätsuntersuchung der Q(U)-Regelung**

### Voraussetzung:

- » Acht verschiedene PV-Anlagen (ca. 380 kWp)
- » Verschiedene Wechselrichterhersteller
- » Verschiedene Verbraucher
- » Extreme Netzsituationen
- » Genaue Überwachung



SGW Graz, 23.5.2014, Elbs

ilwerke vkw

Seite 6

Auf dem Werksgelände befinden sich folgende Einspeiseanlagen mit Leistung und Kabellänge bis zur Trafostation: Dazu wurde künstlich ein Netzausläufer geschaffen.

Gebäude A: 36,2kWp 848m  
Gebäude D: 33,4kWp 792m  
Gebäude V: 15+12kWp 285m  
Gebäude X: 62,1 kWp 157m  
Gebäude N: 61,8kWp 147m  
Gebäude K: 36kWp 10m  
Gebäude M: 122kWp 243m

Die Anlagen werden alle mit einer SentronPac 4200 überwacht. Alle 200ms werden ca. 50 Messwerte je Messgerät erfasst und gespeichert.

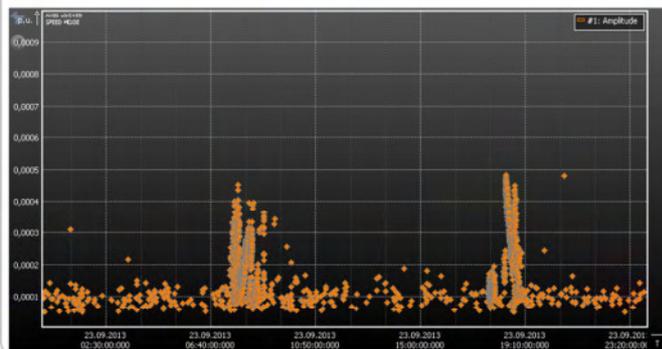
Es wurden verschiedene Lasten für die Versuche verwendet:

Wärmepumpe mit ca. 4 Stufen a 25kW  
Bürogebäude mit 1 Personenaufzug (hoher Flickerpegel aufgetreten)  
Werkstatt mit diversen Maschinen (Lüfter, Kompressoren, Drehbänke usw.)  
Ca. 40 ladende Elektroautos + 1 Schnellladestation (50kW)

## Untersuchung der Stabilität

### » Analyse niederfrequenter Schwingungen:

- » Frequenzen 5mHz – 50Hz
- » Amplitude der Schwingungen
- » Dämpfung der Schwingungen
- » Dauer der Schwingungen



SGW Graz, 23.5.2014, Elbs

illwerke vkw

Seite 7

Mit dem Dämpfungsmonitor können niederfrequente Schwingungen erfasst werden. Bei der Auswertung können die verschiedenen Messdaten kombiniert werden. Hauptsächlich interessiert uns die Änderung der Schwingungsneigung. Diese änderte sich beim Feldversuch nicht erkennbar.

## Ergebnis des Feldversuches Q(U)

- » System auch bei massiven Eingriffen stabil
- » Änderung der Schwingungsneigung nicht erkennbar
- » ~ 50% mehr PV möglich
- » Geringerer Blindleistungsverbrauch gegenüber  $\cos\phi(P)$
- » Blindleistungshaushalt im gesamten Netz regelbar
  
- » Sommer 2014: Veröffentlichung des Endberichts

Es wurde die Anregung des Systems auf mehrere Weisen versucht:

1. Durchfahren eines größeren Spannungsbereiches mit dem Stufensteller des 110/10kV-Umspanners über 8 Stufen.
2. Motoranläufe mit hohen Anlaufströmen (hoher Flickerpegel)
3. Starke Unsymmetrien erzeugt (Ladung E-Autos)
4. Im stationären Betrieb wurde das Spannungsband von 90%-110% Un voll ausgeschöpft
5. Steile Kennlinien mit höherer Schwingungsneigung testweise eingestellt
6. Der Blindleistungshaushalt in der Feldversuchstrafostation konnte mit Hilfe des Stufenstellers erfolgreich ausbalanciert werden.

## Blindleistungsbereitstellung kostet auch Geld

Vorarlberg Netz

illwerke vkw

- » Umrüstung des Blocks A im abgeschalteten Kernkraftwerk Biblis auf Phasenschieberbetrieb
- » Blindleistungsregelbereich von -400 bis +900 Mvar
- » Kosten: 7 Mio. €



SGW Graz, 23.5.2014, Elbs

illwerke vkw

Seite 9

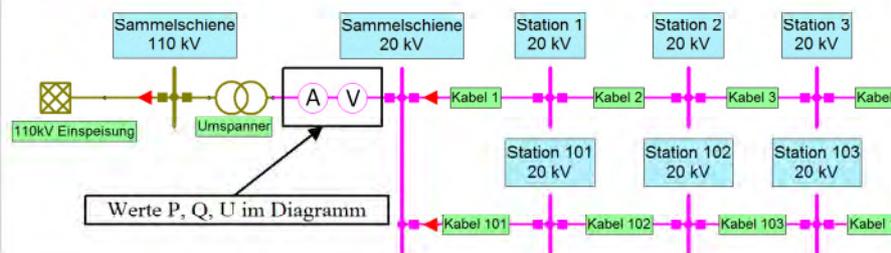
Die aktuelle Stilllegung unrentabler Großkraftwerke zu Gunsten erneuerbarer Kleinkraftwerke bedeutet zusätzliche Risiken bezüglich Netzstabilität, aber auch mehr Druck auf lokale Blindleistungsbereitstellung. Die Übertragungsnetzbetreiber rücken die Blindleistung zunehmend in den Vordergrund (in DE und AT). Die Übertragungsnetzbetreiber kommen finanziell vermehrt unter Druck. Die Blindleistungsbereitstellung kostet auch Geld. Ein Preis für die Blindenergie dürfte über kurz oder lang kommen.

## Blindleistungshaushalt Simulationsannahmen in folgenden Beispielen

Vorarlberg Netz

illwerke vkw

- » 20 kV – Netz ländlich
- » Verkabelungsgrad: Istnetz ~50% // Zielnetz 100%
- » Einspeiseleistung: ca. 150 kWp / Station (Zukunftsszenario)
- » Betrachtung von zwei 20 kV-Abzweigen
- » Wirkleistung: Richtung 110 kV (max. PV-Einspeisung)
- » Simulation geht über MS- und NS-Netz bis zu den Wechselrichtern



SGW Graz, 23.5.2014, Elbs

illwerke vkw

Seite 10

Es wurden viele unterschiedliche Netze (10, 20, 30kV) mit unterschiedlichem Kabelanteil mit unterschiedlichen Q(U)-Kennlinien (Stützpunkte verschoben) simuliert.

Ziel war es, die Q-Auswirkungen auf die überlagerten Netzebenen zu ermitteln. Auszugsweise folgen einige Folien für ein repräsentatives 20kV-Netz bei Volleinstrahlung.

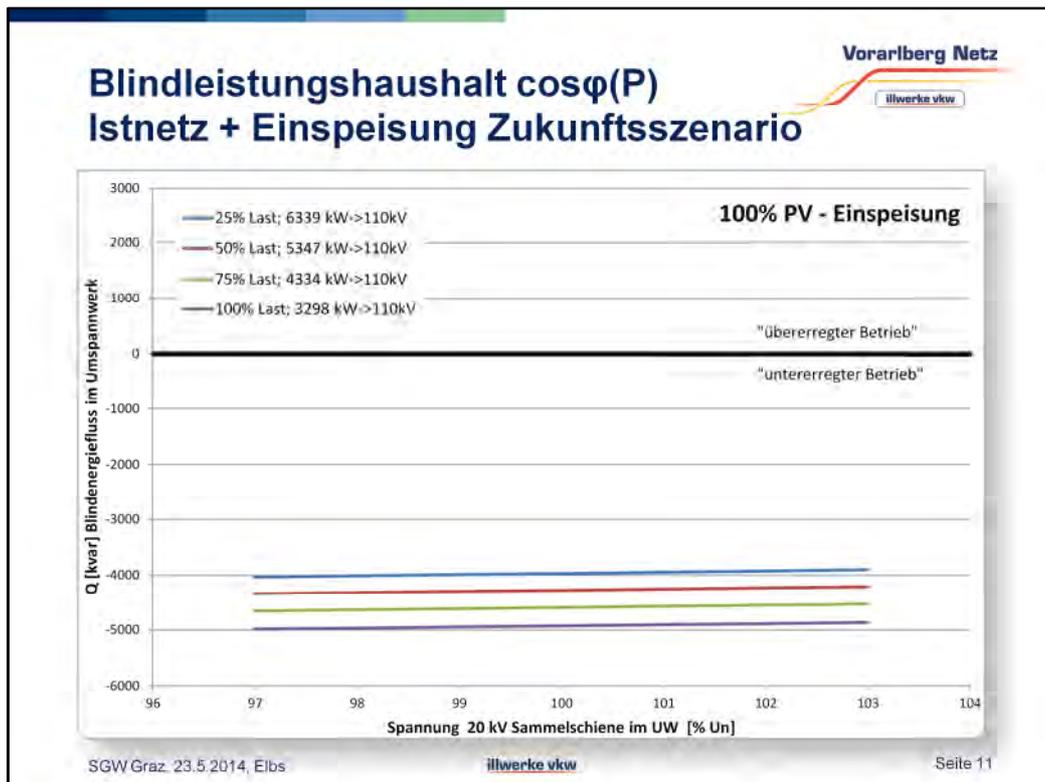
Dabei wurde ein angenommener PV-Vollausbau von 150kWp je Netzstation unterstellt.

Es wurden die Netze in der MS und NS modelliert.

Zur Vereinfachung der Simulation wurde die Berechnung nur für zwei Abzweige durchgeführt und kann beliebig hochskaliert werden.

Bei allen dargestellten Arbeitspunkten bestand eine P-Rücklieferung aus der 20kV Ebene über den Umspanner in das 110kV Netz.

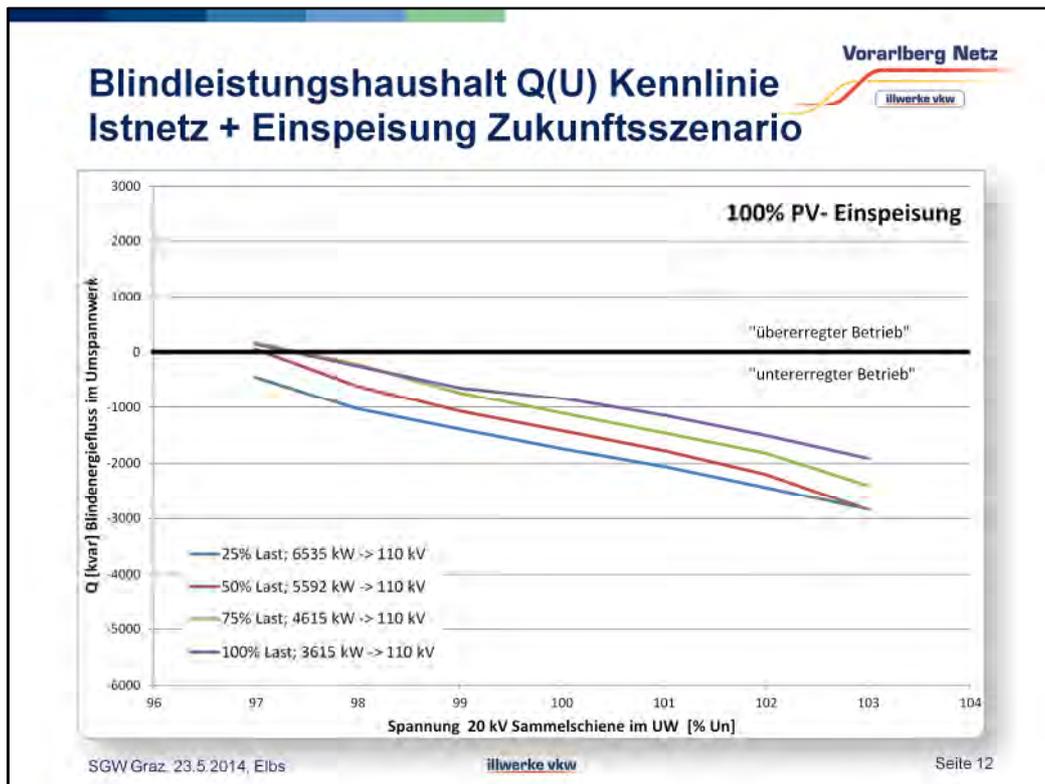
In einem eigenen Umspannwerk im Westallgäu besteht diese Situation bereits heute.



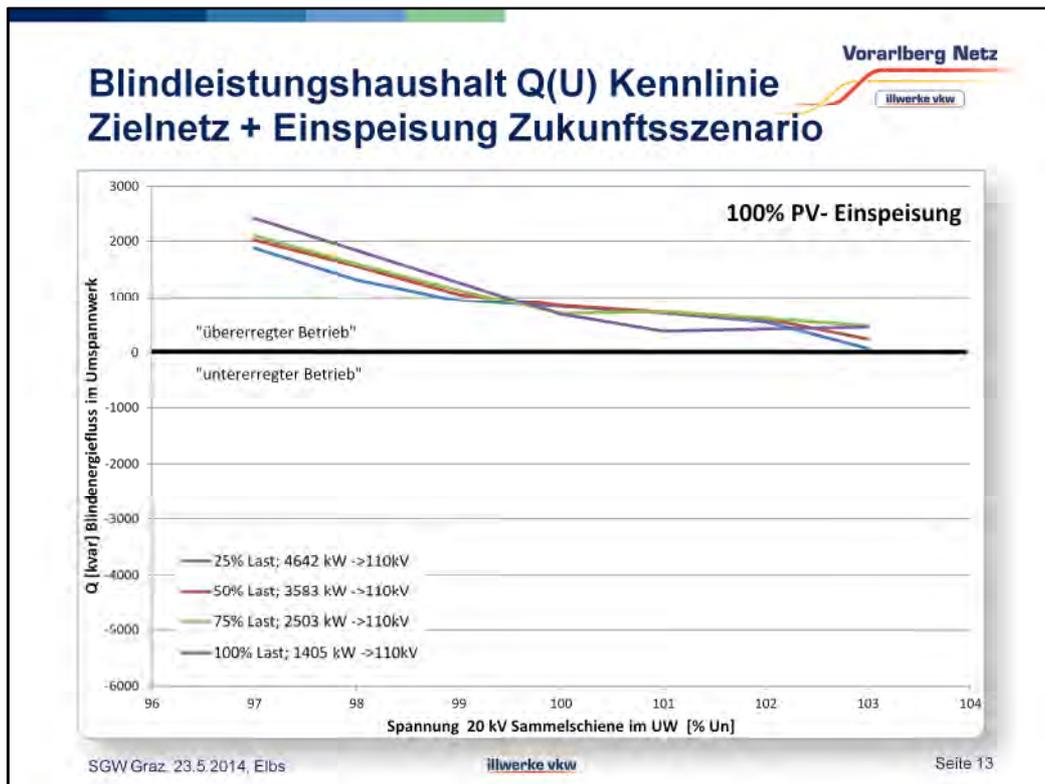
Dargestellt ist das Blindenergieverhalten des MS- und NS-Netzes in Summe an der Schnittstelle 20kV-Sammelschiene bei 100% PV Volleinspeisung bei unterschiedlicher Lastabgabe von 25%, 50%, 75% und 100% Pmax.

Sofort fällt der hohe Blindstromverbrauch durch die PV-Wechselrichter im  $\cos\phi(P)$ -Betrieb von 4-5 Mvar für nur 2 Abzweige 20kV auf, der nicht beeinflusst werden kann. Das Verhalten entspricht wegen der Wirkenergieerückspeisung eines Synchrongenerators im stark untererregten Betrieb (unerwünscht).

Anfang und Ende der Diagrammlinien sind gleichzeitig der zulässige Betriebsbereich des 110/20kV Umspanners (ohne Spannungsbandverletzungen an den Netzrändern befürchten zu müssen).

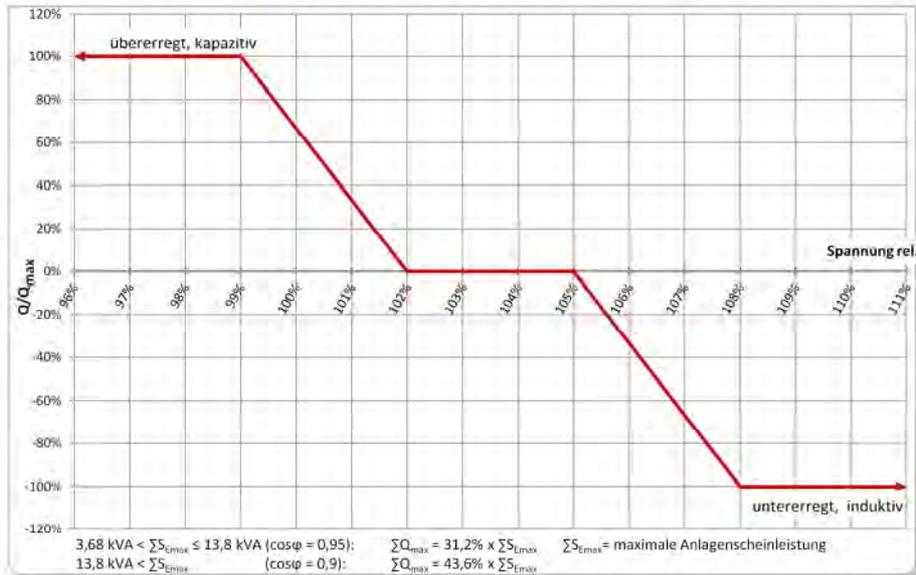


Die selbe Netzsituation mit Q(U)-WR-Einstellung (Parameter siehe Folie 14). Sehr gut sichtbar ist der deutliche Minderbezug an Blindenergie aus dem HS-Netz. Durch Verstellung der Spannung an der UW-SS 20kV kann in Grenzen das Blindleistungsverhalten geregelt werden. Anfang und Ende der Diagrammlinien sind gleichzeitig der zulässige Betriebsbereich des 110/20kV Umspanners (ohne Spannungsbandverletzungen an den Netzhändern befürchten zu müssen).



Hier wird das Zielnetz in der Zukunft simuliert (Vollverkabelung durchgeführt).  
 Ebenso wurde eine Lastzunahme berücksichtigt.  
 Die Blindleistungsbilanz weicht nach wie vor nicht wesentlich von der Nulllinie ab.  
 Das heißt, die eingestellte Q(U)-Kennlinie wird lange Zeit ein netzfreundliches Verhalten zeigen.  
 Durch individuelle Steuerung größerer dezentraler Erzeugungsanlagen kann noch gezielt optimiert werden.

## Q(U)-Kennlinie für DEAs in der Niederspannung seit 1. Mai 2014



SGW Graz, 23.5.2014, Elbs

illwerke vkw

Seite 14

Die Blindenergieflüsse sind rein von der anliegenden Spannung abhängig.

Hohe Spannung am WR verursacht induktiven Q-Bezug (untererregt)

>Spannungsanhebung wird reduziert.

Tiefe Spannung am WR verursacht induktive Q-Lieferung (kapazitiv, übererregt) >

Spannungsabsenkung wird reduziert.

Die gültige Q(U)-Kennlinie drückt die Spannung am Wechselrichter vom Rand immer in Richtung Mitte.

Vorteil:

Die Q-Flüsse werden nur aktiviert, wenn Bedarf besteht.

Zudem kann die benötigte Blindenergie vor Ort bereitgestellt werden.

Damit werden auch die zusätzlichen Netzverluste minimal gehalten bzw. im Idealfall sogar reduziert (dezentrale Bereitstellung der Blindenergie).

**Vorarlberg Netz**  
illwerke vkw

## Beurteilung der Q(U) - Kennlinie

- » Wirkleistungsverluste im Verteilnetz gegenüber  $\cos\varphi(P)$  deutlich geringer (ca. 200 kW im Beispiel)
- » Blindleistungsverbrauch gegenüber  $\cos\varphi(P)$  wesentlich geringerer
- » Untersuchung der Kennlinie für verschiedene 10 kV, 20 kV und 30 kV Netze
  - optimierte Lösung für alle Spannungsebenen
- » Flache Steigung der Q(U) – Kennlinie → sehr stabiler Betrieb
- » Untererregter Bereich beginnt bei 105% → hohe Wirkung in der Niederspannung

SGW Graz, 23.5.2014, Elbs illwerke vkw Seite 15

Wenn PV Anlagen einmal für hohen Q-Verbrauch eingestellt sind (z.B. mit  $\cos\varphi(P)$ ), ist eine nachträgliche Reparatur dieses Zustandes auf z.B. Q(U) nur mit erheblichem Aufwand möglich.

Zudem wollen die Netzbetreiber nicht das Spannungsanhebungsproblem nur in der Niederspannung lösen und dafür als Preis in der Hochspannung ein neues Problem durch hohen Blindenergiebedarf ernten.

Die vorliegende Kurve von Vorarlberg Netz ist sehr breitbandig konzipiert und wegen der flachen Flanken sehr stabil (bei einem  $\Delta U$  von 3% $U_n$  geht der Q-Bereich von 0 bis 100% $Q_n$ ).

Durch beginnenden untererregten Betrieb bereits ab 105%  $U_n$  ist sie zudem sehr wirksam in der Niederspannung.

Von der Wirkung in der Niederspannung besteht bei Q(U) kaum ein Unterschied zu  $\cos\varphi(P)$ .

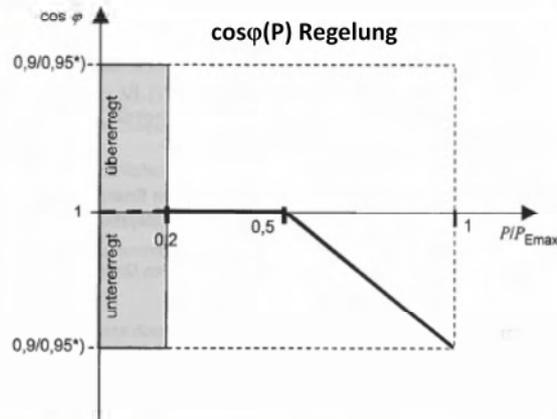
## Hinweis

**Betriebsart  $\cos\varphi(P)$**

**ist seit 16.9.13**

**(TOR D4 neu) die**

**Standardeinstellung**



**Aber:**

**Einstellung Q(U) ist laut TOR D4 ebenso vorgesehen**

Die  $\cos\varphi(P)$ -Lösung stammt aus Deutschland und war der erste und einfache Ansatz zur Dämpfung der Spannungsanhebungsproblematik im Jahr 2011 (VDE AR-N 4105). Der Ansatz war wegen seiner Nachteile bereits damals umstritten, aber die WR waren noch nicht bereit für komplexere Regelstrategien. Zudem bestand und besteht noch große Unsicherheit über die Stabilität der Q(U) Regelung. Mittlerweile wissen wir, dass die theoretisch bei ungünstiger Parametrierung vorhandene Schwingungsneigung in der Praxis gut beherrschbar ist. Q(U)-fähige WR werden bis Ende 2014 von allen namhaften Herstellern verfügbar sein (Liste auf Homepage Vorarlberg Netz). Q(U) wird von uns als elegante Weiterentwicklung der  $\cos\varphi(P)$ -Lösung gesehen, die aber insgesamt wesentlich netzfreundlicher ist. Diese Meinung wird auch von der TU München geteilt.



**Einführung der Q(U) – Regelung  
zum 1. Mai 2014  
bei Vorarlberg Netz und Weiterverteilern**



Die konkrete Einführung der Q(U)-Regelung bei Vorarlberg Netz zum 1. Mai 2014 wird beschrieben.  
Die angeschlossenen 6 weiterverteilenden Netzbetreiber und VKW Allgäu setzen die Maßnahmen ebenfalls um.



Die Anzahl der WR-Hersteller ist beträchtlich.  
Ebenso die Art der technischen Ausführung.

## Schwierigkeiten bei der Einstellung einer Q(U) Kennlinie

Vorarlberg Netz

illwerke vkw

- » **Spannung:**
    - » Eingabe von Spannungswerten in Volt
    - » Eingabe von Spannungswerten in %
  - » **Blindleistung:**
    - » Keine einheitliche Benutzung des Vorzeichens
    - » Eingabe erfolgt:
      - » % von maximaler Scheinleistung
      - » % von maximaler Blindleistung
      - » % von maximaler Wirkleistung
      - » Absolut in kvar
      - » Maximaler  $\cos\varphi$
  - » **Regelzeit:**
    - » Oft keine Einstellmöglichkeit
    - » Falls vorhanden, unklar was beeinflusst wird
- **Standardisierung brächte hier große Erleichterung**

SGW Graz, 23.5.2014, Elbs

illwerke vkw

Seite 19

Die Hersteller haben in den Produkten eine große Vielfalt von technischen Lösungen umgesetzt. Damit mussten wir uns im Detail befassen.

Insbesondere die unterschiedlichen Parameterbezeichnungen und vor allem die Bezugsgrößen und unterschiedliche Vorzeichenregeln (VZS, EZS und sogar Mischungen darin beim selben Produkt).

Eine große Erleichterung für alle Beteiligten, Hersteller, Netzbetreiber - vor allem aber für die Installateure brächte hier eine Standardisierung mit einer einheitlichen Ländereinstellung.

## Wechselrichter selber testen und eigenes Know-How aufbauen

Vorarlberg Netz

illwerke vkw



SGW Graz, 23.5.2014, Eibs

illwerke vkw

Seite 20

Da wir der erste VNB im deutschsprachigen Raum sind, der Q(U) in der Fläche einführt, war und ist die intensive Befassung mit dem gesamten WR-Angebot notwendig. Ohne ein Bekenntnis zu diesem Aufwand ist die erfolgreiche Q(U)-Einführung derzeit kaum vorstellbar, wenn auch einiges an Vorarbeit durch uns geleistet wurde.

## Informieren, unterstützen und überprüfen der Installateure

Vorarlberg Netz

illwerke vkw

- » Rundschreiben mit aktuellen Informationen
- » Informationsveranstaltungen
- » Kompetente Telefon-Unterstützung für Installateure
- » Homepage als Auskunftsplattform  
<http://www.vorarlbergnetz.at/inhalt/at/erzeugungsanlagen.htm>
- » Wechselrichterreports zu Q(U) und Entkupplungsschutz einfordern



SGW Graz, 23.5.2014, Elbs



illwerke vkw

Seite 21

Mit entscheidend für den Erfolg ist aber auch eine gute Begleitung der Installateure durch Informationsveranstaltungen, einen kompetenten Telefon-Support über die Parametrierung der einzelnen Fabrikate und deren Eigenheiten.

Die sehr gut ausgebaute Homepage mit unterstützenden Demo-Videos erwies sich dabei als äußerst hilfreich.

Wenn den Installateuren erkennbar und bemüht geholfen wird, ist das Verständnis da. Als Erfolg winkt eine höhere Anschlussrate an PV im Bestandsnetz (Hinweis an den Elektriker, dass er mehr Anlagen verkauft, überzeugt rasch).

Die Reports müssen kontrolliert werden, weil aktuell noch viel Fehler gemacht werden (und in der Vergangenheit teilweise nicht auffielen).

## Zusammenfassung

- » **Q(U) bei DEA: +30% bis +100% PV möglich**
- » **Q(U) Ersteinführung ist momentan noch aufwändig**
  - Standardisierung fehlt
- » **Kompoundierung in Umspannwerken: +100% PV möglich**
  - Einführung relativ einfach, Ergiebigkeit hoch
- » **Weiterhin stabiler Netzbetrieb**
- » **DEAs verursachen Zusatzkosten**
- » **Zusatzkosten lassen sich mit diesen Maßnahmen reduzieren**
- » **Vorarlberg Netz setzt 2014 diese Maßnahmen um**

Zusammenfassung laut Text.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

**Dipl.-Ing. (FH) Christian Elbs**  
**Vorarlberger Energienetze GmbH**  
Netzplanung & Power Quality  
6900 Bregenz, Weidachstraße 10  
Telefon: +43 5574 9020-73729  
[www.vorarlbergnetz.at](http://www.vorarlbergnetz.at)  
[christian.elbs@vorarlbergnetz.at](mailto:christian.elbs@vorarlbergnetz.at)