

Q(U)-fähige PV-Wechselrichter und wirkstromkompoundierte Spannungsregelung im 110kV/MS-Umspannwerk als zwei wirtschaftliche Maßnahmen bei hoher PV-Dichte

Smart Grids Week Salzburg
16. Mai 2013

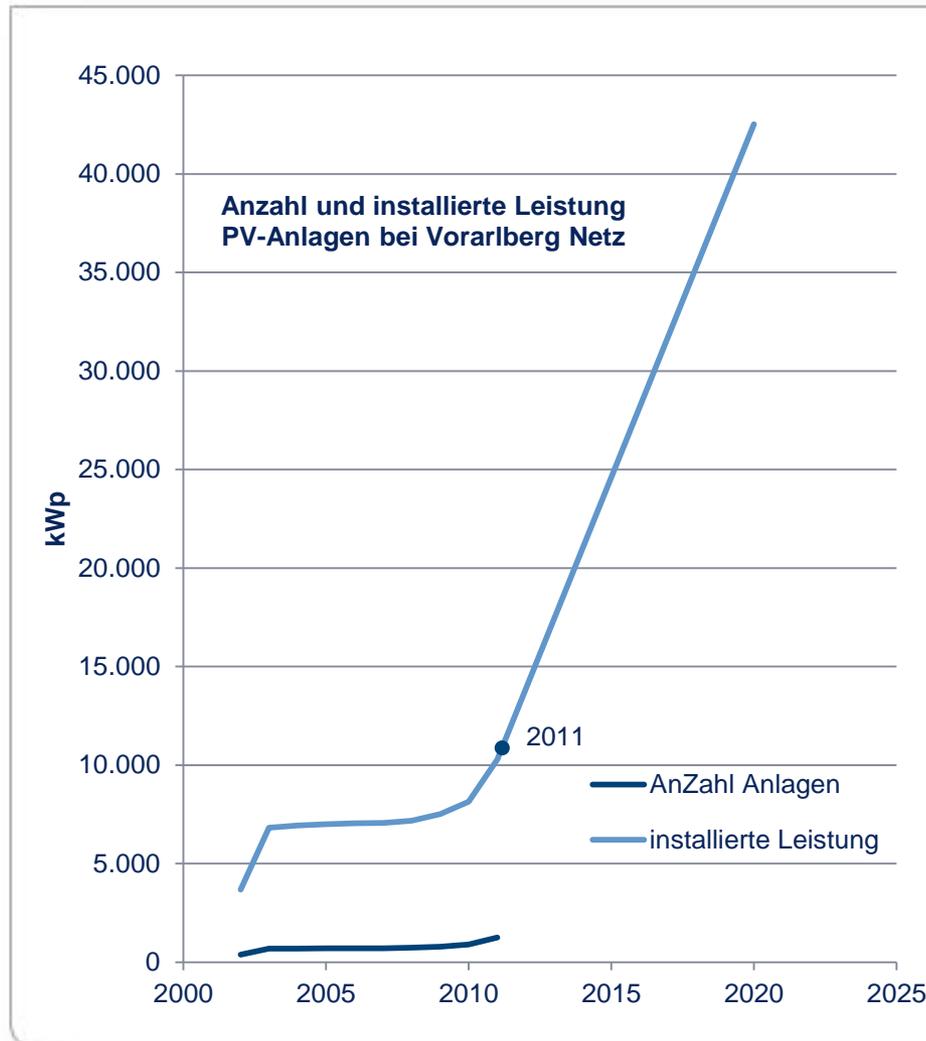


Nenning Reinhard, Vorarlberg Netz

Agenda

- 1) Energiepolitische Zielsetzungen in Vorarlberg, Fokus Photovoltaik
- 2) Strategien/Lösungsansätze zur Beherrschung des PV-Zuwachses
- 3) WR-Regelstrategie Q(U) bei PV-Anlagen > 9kVA
- 4) Projekt: Feldtest - Einführung Q(U)-regelfähiger Wechselrichter bei PV in Vorarlberg; Wissenschaftliche Begleitung durch TU München
 - Parameterset der spannungsabhängigen Blindleistungsregelung Q(U)
 - Schwingungsneigung: WR untereinander und in Wechselwirkung mit Lasten
- 5) Wirkstromkompoundierte Spannungsregelung U(P) in 110kV/MS – UW
Regionale Regelstrategie zur Spannungshaltung
- 6) Zusammenfassung, Fazit

Zunahme DEA im VKW-Netz 2000 – 2011 (– 2020) → Folgerungen / Erfordernisse*



- Einspeisung aus PV wird zunehmend systemrelevant
- Aufgrund hoher Zahl von Einzelanlagen: „generelle Ansätze“ erforderlich
- Anlagen im NS-Netz müssen zunehmend „Verantwortung“ für das Netz übernehmen



Mehr „Kraftwerksverhalten“ gefordert

- Mitarbeit bei Frequenzhaltung im Störfall
- Mitwirkung beim Erhalt des „Drehstromnetzes“
- Mehr Blindleistungsregelung zur Spannungsstützung u. Erhöhung der Netzaufnahmefähigkeit

* Aus Vortrag Michael Rapp EnBW am 11.4.2012

Strategien zur Beherrschung des PV-Zuwachses

Mehrere Optionen:

- 1) Netzverstärkung
- 2) regelbare ON -Trafos (rONT)
- 3) **Wirkstromkompoundierte Spannungsregelung**
- 4) MS/MS-Längsregler
- 5) Smart Grids (Intelligente Spannungsregelung mit zusätzlichen Messstellen)
- 6) Kappung der Einspeisespitzen (Wirkenergieverlust ca 5%) – kritisch (€-Erträge)
- 7) Kontrollierter Blindstrombezug/-einspeisung (Beteiligung der Einspeiser an der Blindleistungsregelung)
 - $\cos \varphi$ - Fixwerteinstellung
 - $\cos \varphi$ (P) - Regelung gemäß VDE AR-N 4105
 - **Q (U) Regelung**
 - Q-Vorgabe durch den VNB gleitend über eine Schnittstelle

Regelstrategie Q (U) bei PV-Anlagen > 9kVA

Ziel:

- PV-Zubau im Bestandsnetz bei minimiertem Netzaufwand ohne komplexe Steuereinrichtungen (v.a. lokale Intelligenz)
 - gem. VDE AR-N 4105 Anm. 3 in Punkt 5.7.5 als Zukunftsanwendung

Vorteil

- lokale Regelstrategie Q (U) beeinflusst Blindleistungshaushalt nur bei extremen Spannungsabweichungen und erzeugt damit nur bedarfsgesteuert Blindleistungsflüsse (kein dauernder Anstieg der Netzverluste und des Blindenergiebedarfes)

Nachteil

- Parametrierung durch Elektriker vor Ort erforderlich
- Netzberechnung wird aufwändiger

Bei Inbetriebnahme einer Anlage:

- Prüfung der Konformität samt Regelstrategie Q(U) durch Anlagenbetreiber
- Vorlage des Protokolls (Fertigstellungsmeldung) beim NB

Thema:

Wissenschaftliche Begleitung der Erprobung einer Q(U) Regelung bei PV-Wechselrichter

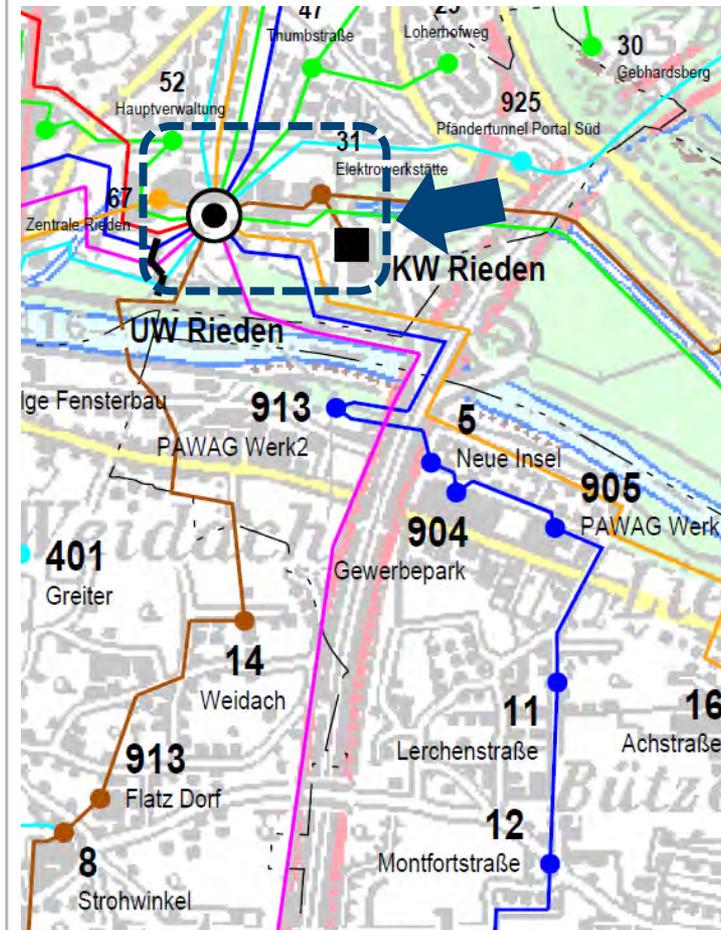
Stabilitätsverhalten der spannungsabh. Blindleistungsregelung Q(U)

- Ermittlung geeigneter Parametereinstellungen (für stabilen Betrieb), um Schwingungsneigungen entgegenzuwirken
- Einbindung verschiedener WR-Typen in den Feldtest (Fokus: Wechselwirkung untereinander u. Wechselwirkung Einspeiser mit Lasten)
- Nachweis: 50% mehr PV am selben Netz wird möglich

Wichtiges Kriterium für Vorarlberg Netz:

Maximale technische Sicherheit, dass aufgrund des Einsatzes von Q(U)-Wechselrichtern ab 2013 keine Probleme im Netz und damit bei Kunden und deren Anlagen auftreten

Q(U)-Feldversuch im eigenen Werksgelände in Bregenz

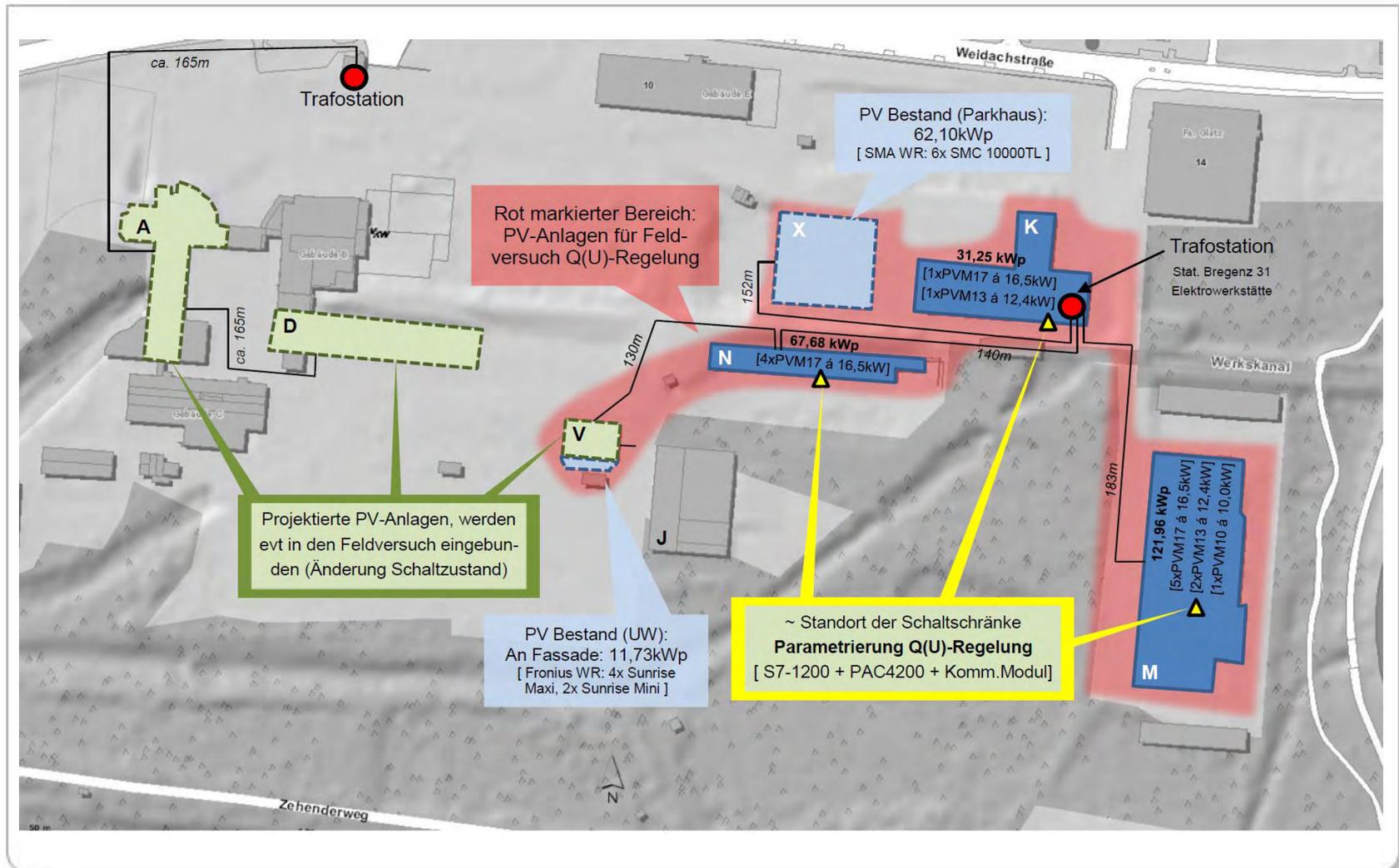


Feldtest in repräs. NS-Netz:

- Je nach Var. 300-350 kVA Einspeiseleistung aus PV
- Unterschiedliche WR-Typen/Hersteller
- Verschiedene Lasten: Werkstätte/Büro
- Wasser-KW Rieden (~800 kW)

- Handlungsfelder/Stellgrößen:
 - Einspeise-/Lastverschiebung zw. Trafostationen (für zusätzlichen Spannungshub, Spannungsänderungen)
 - Option für Versuchszweck: temporär Doppel-SS-Betrieb im UW (nur betroffene TST Werkstätte) – Variation des Spannungsreglersollwertes

Feldversuchsbereich Q(U)-Regelung Vorarlberg Netz



Q (U) Regelung gemäß ital. PV-Norm CEI 0-21: 2011-12 (1)

- Neue ital. PV-Norm CEI 0-21: 2011-12 (gültig seit 1.7.2012)
- Standardeinstellung ist die Q(U) Regelung
- Namhafte WR-Hersteller DE und AT sind darauf eingestellt

TECHNICAL STANDARD

CEI 0-21:2011-12

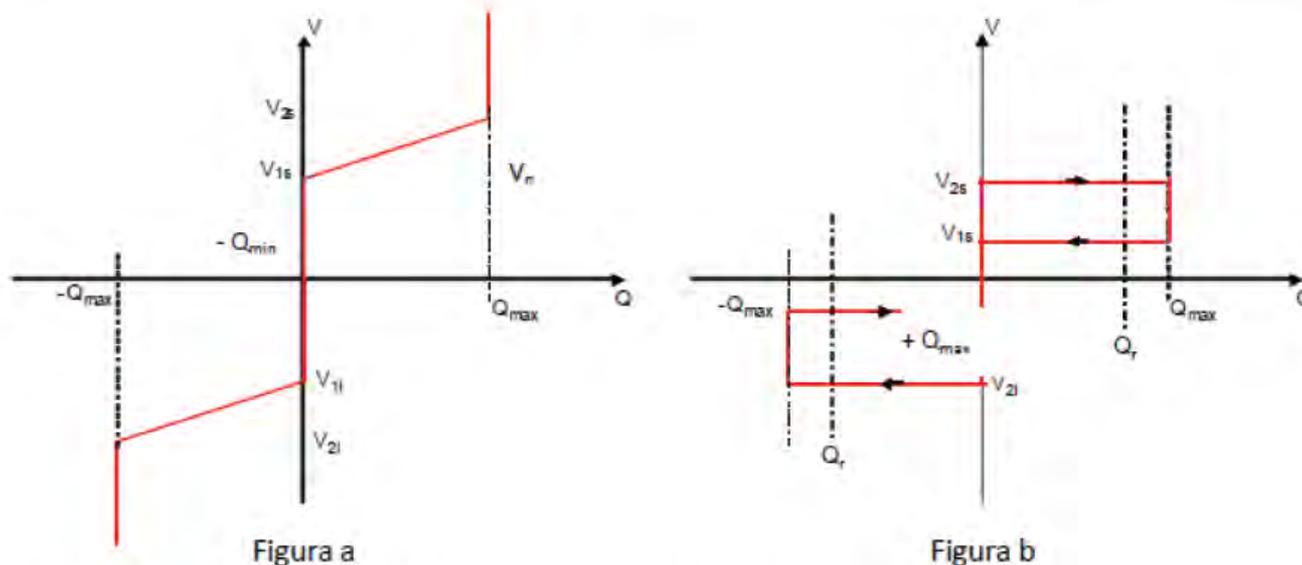
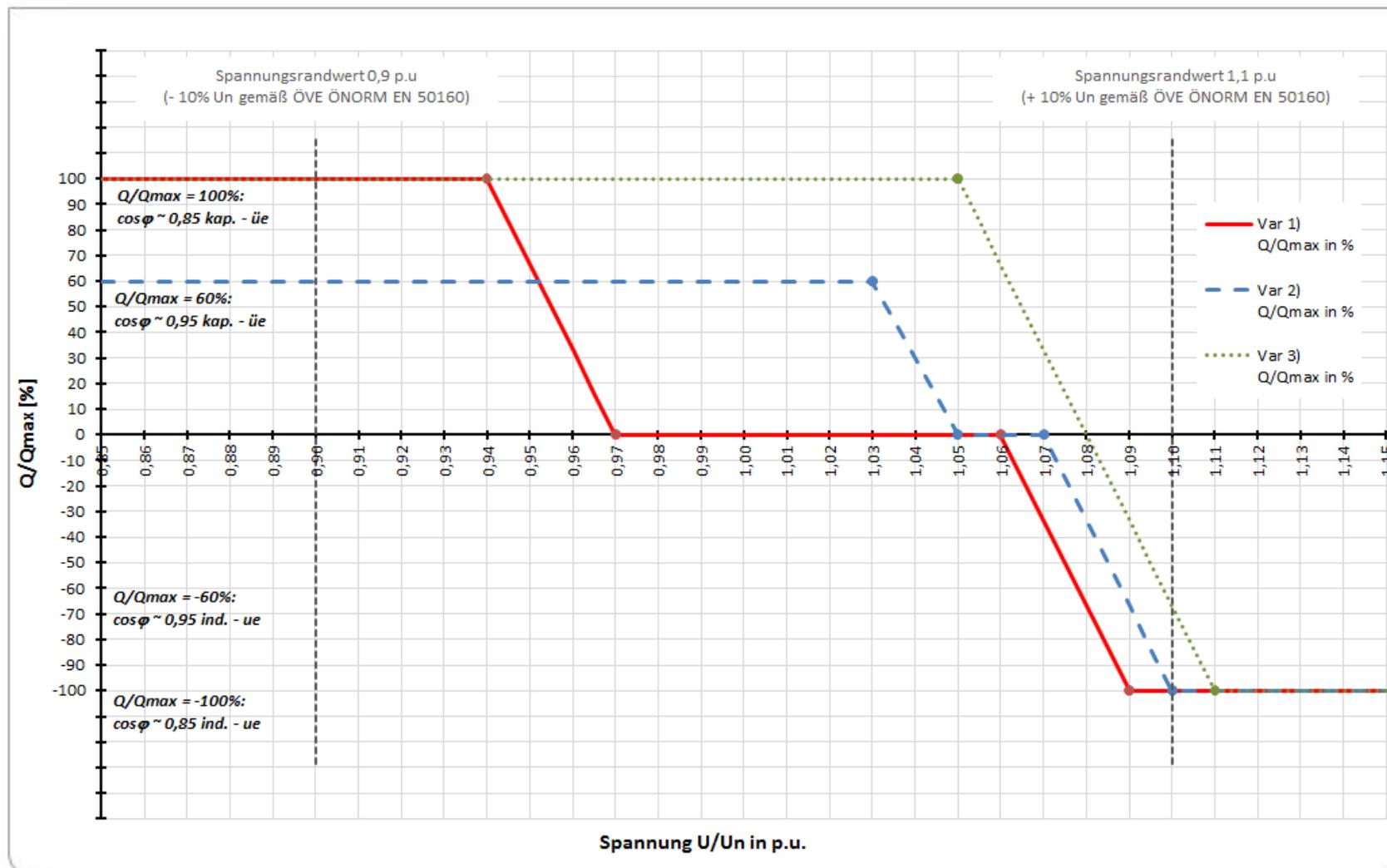


Figure 39 - Standard characteristic curves $Q = f(V)$ $Q=f(V)$.64)

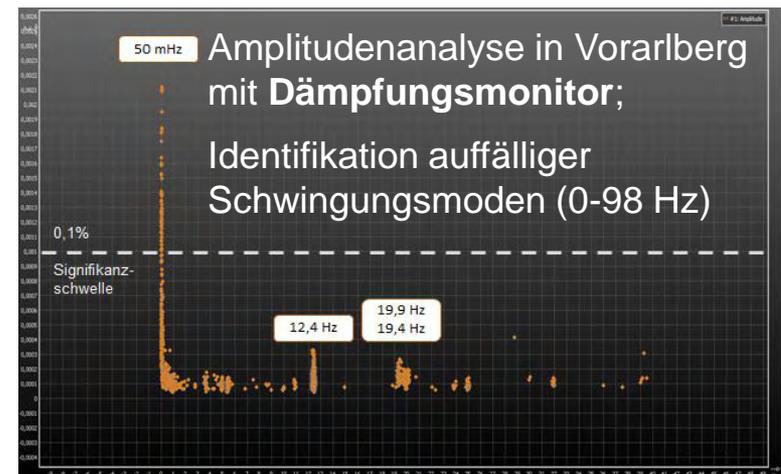
Mögliche Kennlinie(n) der spannungsabhängigen Blindleistungsregelung Q(U)



Fokus: Schwingungsneigung aufgrund Wechselwirkung Q(U)-regelfähiger PV-WR mit Lasten

Erwartete Erkenntnisse bzgl. Schwingungsneigung aufgrund:

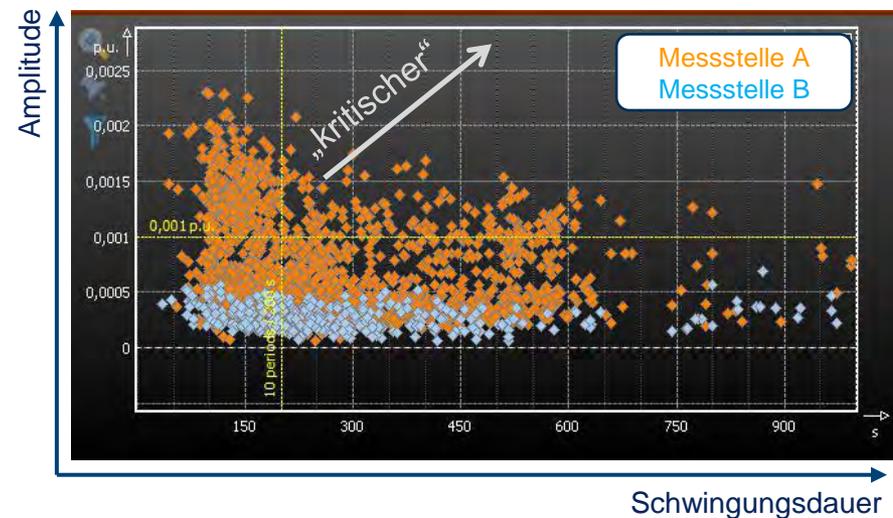
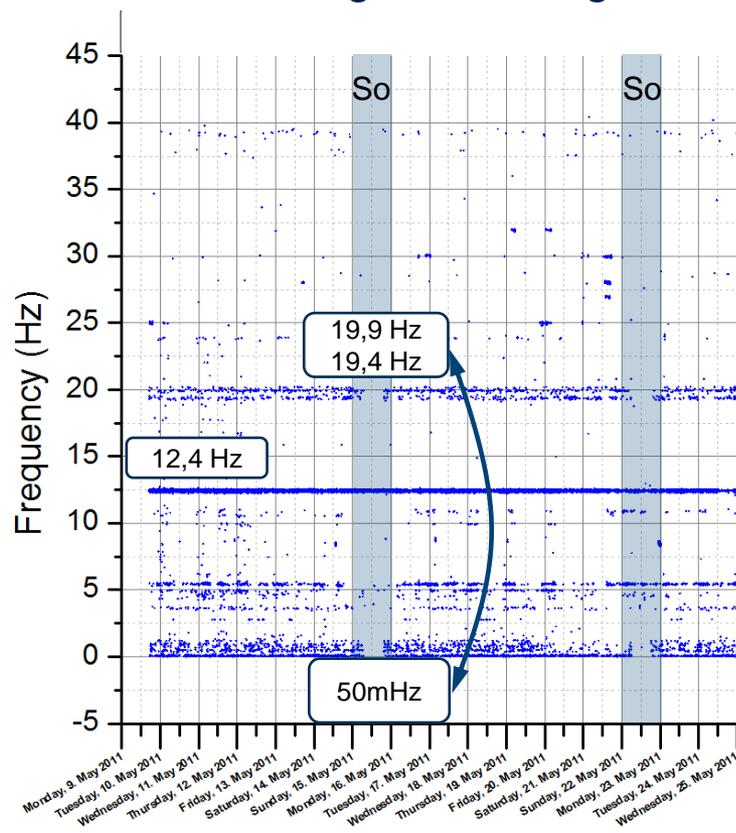
- der Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitung des Feldversuchs der Q(U)-Erprobung in Vorarlberg seitens TU München
- div. Impulse seitens der im Projekt beteiligten WR-Hersteller
- zunehmender Bedeutung der Q(U)-Regelung bei Netzbetreibern sowie in anderen Forschungsprojekten (u.a. Projekte *morePV2grid*, *DG Demonetz*, *Smart LV Grid*, *Studie Q(U)*, ...) und den diesbezüglichen Erfahrungen.
 - →Wissenschaftlicher Austausch, Ergebnisveröffentlichung erwünscht;
- Einsatz eines **Dämpfungsmonitors** (a-eberle, DABox 2000) in Vorarlberg
 - kritisch 9Hz (Flickerwahrnehmung): Messerfahrung Dr. Fette in NS-Netz Süddeutschland*:
 - hohe Dichte an Schwingungsereignissen (1-10Hz) bei PV-Einspeisung (Leistungsrückspeisung in vorgelagertes MS-Netz; WR schwingen untereinander, trennen sich vom Netz, Resynch., ...)



* **Quelle:** Vortrag Dr. Fette, System&Dynamik, 20.6.2012, Mannheim (PQ-Veranstaltung: Intelligente Netze & Dynamische Netzstabilität)

Fokus: Schwingungsneigung aufgrund Wechselwirkung Q(U)-regelfähiger PV- WR mit Lasten

- Fokus auf niederfrequente Ereignisse (0-98 Hz; meist sehr energiereich)
- Praxis bisheriger Messungen: überschaubare Anzahl versch. Frequenzmuster



Charakteristik einer „kritischen Störung“ *

- große Amplitude
- lange Dauer, d.h. schlechte Dämpfung

Faustregeln Warnung/Alarm:

Größe	Warnung	Alarm
Amplitude	0,001 p.u.	0,005 p.u.
Dauer	10 Perioden	50 Perioden

* **Quelle:** Vortrag Dr. Ruster, a-eberle und Dr. Fette, System&Dynamik, 19.9.2012, Bregenz (Messauswertung DA-Box 2000; Messungen bei Vorarlberg Netz)

Maßnahme seitens Vorarlberger Netzbetreiber

Rundschreiben erweiterte Anforderungen PV (Gültigkeit 1.1.2013)



Die Vorarlberger Verteilernetzbetreiber Vorarlberg Netz, Stadtwerke Feldkirch, E-Werke Frastanz und Montafonerbahn AG.

Bregenz, im Juni 2012

Rundschreiben 1/2012

an alle Elektroplaner, Elektroinstallateure und PV-Anlagenerrichter

Erweiterte Anforderungen an neue Photovoltaikanlagen ab dem 1. Januar 2013

Sehr geehrte Damen und Herren,

1. die starke Zunahme von Photovoltaikanlagen - auch größerer Leistung - macht es erforderlich, die Anforderungen an die Wechselrichter teilweise zu erweitern, um langfristig einen wirtschaftlichen und stabilen Netzbetrieb und insbesondere die Einhaltung des Spannungsbandes von $3 \times 230/400V \pm 10\%$ sicherzustellen.

Je nach Gesamtleistung der PV-Anlage gelten folgende Vorgaben:

S/kVA	Aufteilung der Einspeiseleistung	Blind/Wirkleistungsregelung	Bemerkung
≤ 3	einphasiger Anschluss grundsätzlich möglich	$\cos(\varphi) = 1$	wie bisher: der einphasige Anschluss ist möglich, wenn die Berechnung des Netzbetreibers dies zulässt

Gesamtes Dokument unter http://www.vorarlbergnetz.at/downloads/at/RS_1-2012_unterschieden.pdf

Auszug aus dem Rundschreiben (Juni 2012)

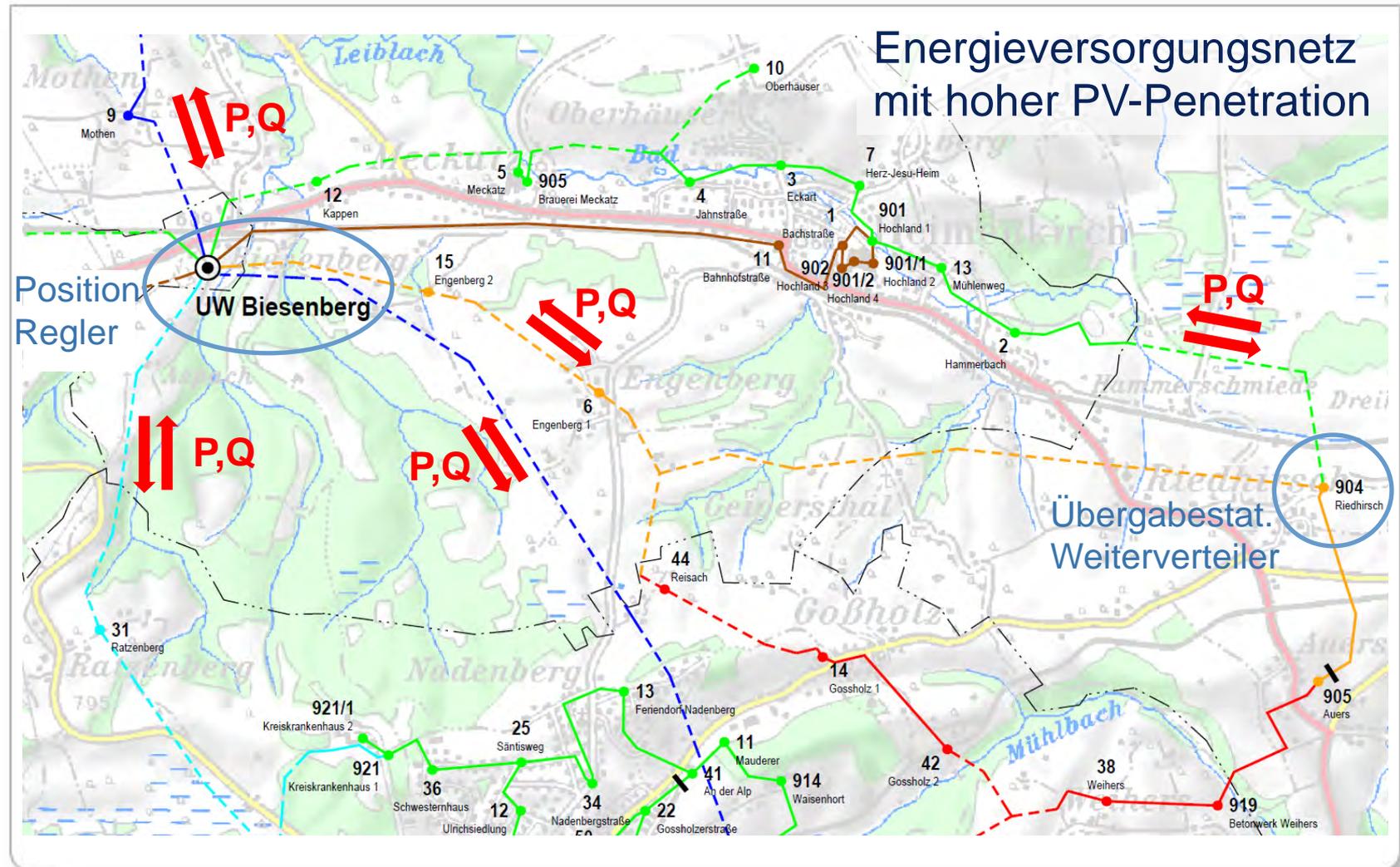
→ Erweiterte Anford. an neue PV ab dem 1.1.2013

S/kVA	Aufteilung der Einspeiseleistung	Blind/Wirkleistungsregelung	Bemerkung
≤ 3	einphasiger Anschluss grundsätzlich möglich	$\cos(\varphi) = 1$	wie bisher: der einphasige Anschluss ist möglich, wenn die Berechnung des Netzbetreibers dies zulässt
>3 bis 9	symmetrisch auf L1-L2-L3	$\cos(\varphi) = 1$	wie bisher: in Ausnahmefällen können sich aus der Berechnung des Netzbetreibers andere Vorgaben betreffend der Aufteilung der Einspeiseleistung ergeben.
>9 bis 100	symmetrisch auf L1-L2-L3	Blindleistungsregelstrategie parametrierbar gemäß Vorgabe des Netzbetreibers, wahlweise: - $Q=f(U)$, - $Q=f(P)$, - $\cos(\varphi)=\text{konstant}$, Stellbereich 0,85 ind. bis 0,85 kap.	neu: spätestens ab 1.1. 2013 sind nur noch Wechselrichter zulässig, für die alle nebenstehenden Regelstrategien parametrierbar sind. Solange im Netzzugangsvertrag keine andere Parametrierung vorgegeben ist, gilt die Standardvorgabe $\cos(\varphi) = 1$.
>100	symmetrisch auf L1-L2-L3	zusätzlich zu den Parametriermöglichkeiten für Anlagen von >9 bis 100 kVA ist eine zentrale Steuerung mit gleitender Sollwertvorgabe von Q bzw. $\cos(\varphi)$ und von P gefordert	gültig seit Mitte 2011: Ausführung gemäß Richtlinie „Technische Anforderungen an neue Einspeiseanlagen ab 100 kW..“.

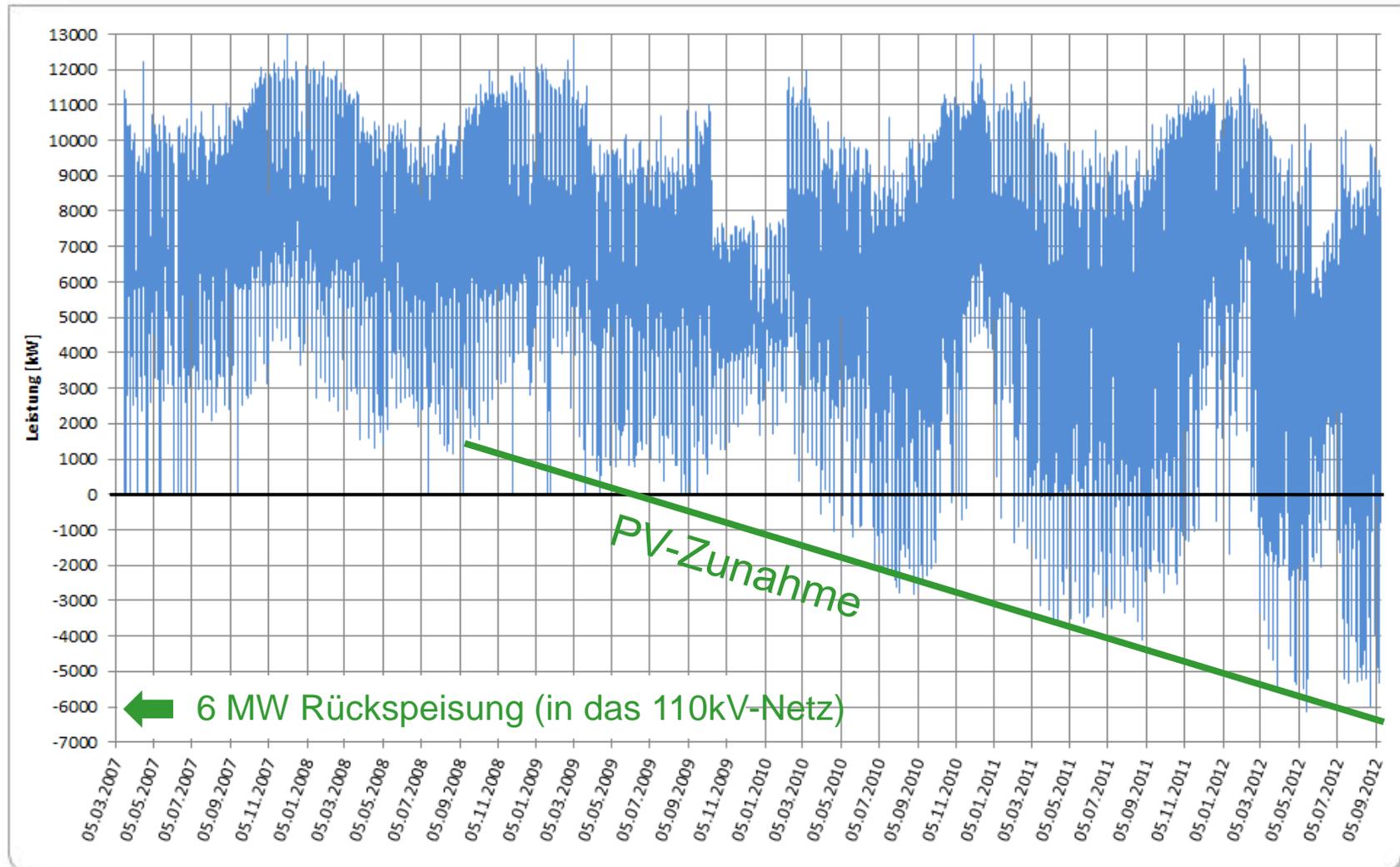
Erläuterungen zu den erweiterten Anforderungen an neue Photovoltaikanlagen

- Leistungsgrenze 3kVA einphasig wurde zwischen VNB und WR-Industrie als brauchbarer Kompromiss gefunden
- Leistungsgrenze 9kVA für erweiterte Regelstrategien wie Q(U) und $\cos\varphi(P)$ ergibt sich pragmatisch, weil seitens namhafter WR-Hersteller ab 9kVA Geräte dafür verfügbar sind (Druck durch ital. Norm CEI 0-21: 2011-12), bisherige Nachfrage durch Vorarlberg Netz bei Fronius, Refu, Siemens, Kostal, SMA, KACO, Solar Max (CH)
- **Leistungsfaktor 0,85** ist für die WR-Hersteller ebenfalls kein Problem (WR ist für die Scheinleistung S um ca. 15% größer zu dimensionieren). **Damit lassen sich gegenüber $\cos\varphi=1$ Anlagen um 50% mehr PV in den NS-Strängen anschließen.**
- Bei Anlagen über 100kVA wird derzeit nur die Rangierung der Stellgrößen auf eine Klemmleiste gefordert. Vollausbau mit FA-Schrank (15TEUR) erst bei Bedarf, aber im Netzzugangsvertrag vereinbart.

Stromkompoundierung im Umspannwerk 110kV/MS (geeignet bei homogen verteilter PV-Einspeisung)

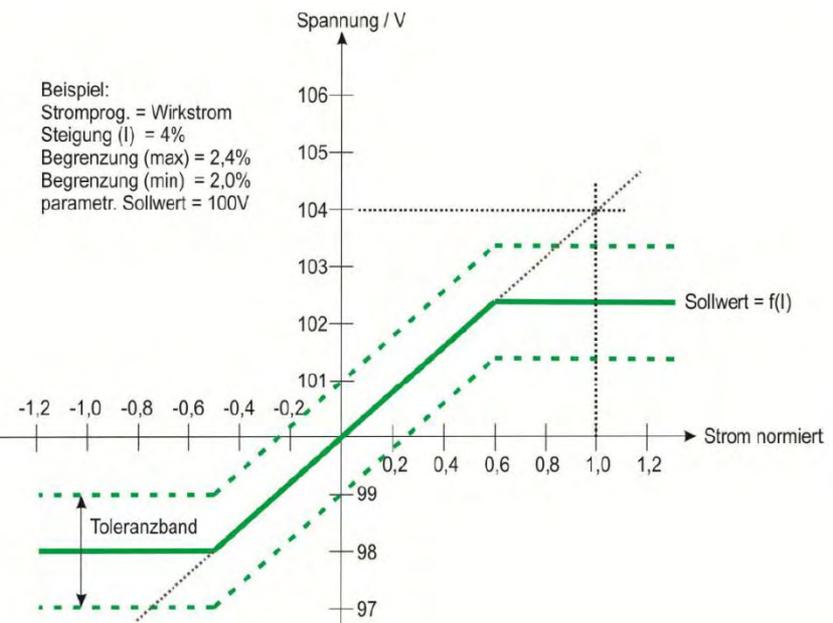


Gemessene Leistungsflussumkehr im UW



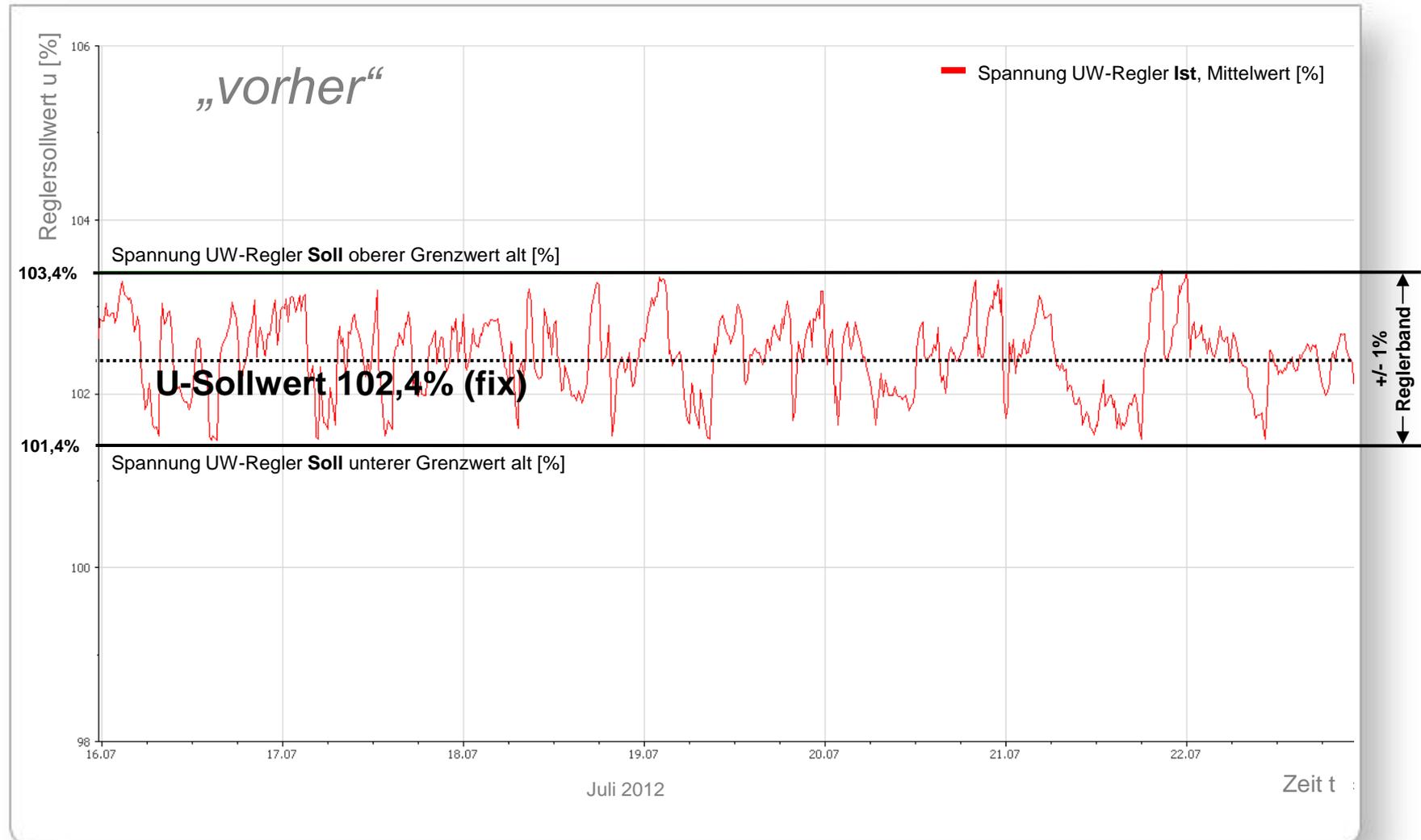
Spannungsregelung in MS-Netzen mit hoher Einspeiseleistung (Stromkompoundierung)

- Bedarf der Anpassung der Regelungsstrategie aufgrund aktueller Engpässe, Spannungsprobleme (Weiterverteiler: U variiert, da $U >$)
- Zubau von Erzeugungsanlagen (größtenteils PV) führt in konkretem Verteilernetzbereich (nicht nur in Schwachlastzeiten) zu Leistungsflussumkehr (Fluss überschüssiger Leistung von NS über MS in übergeordnetes 110kV-Netz)
v.a. im Sommer werden in ländlichem Verteilernetz mit hoher PV-Einspeiseleistung teils kritische Spannungswerte (Systemzustände) erreicht.
- Veränderung Sollspannung: 20,7 kV (103,5% U_n) → 20,4 kV (102,0% U_n) (urspr. 20,7kV für Spannungshaltung bei Starklast und min. Einspeiseleistung an entfernten MS-Netzausläufer konzipiert)



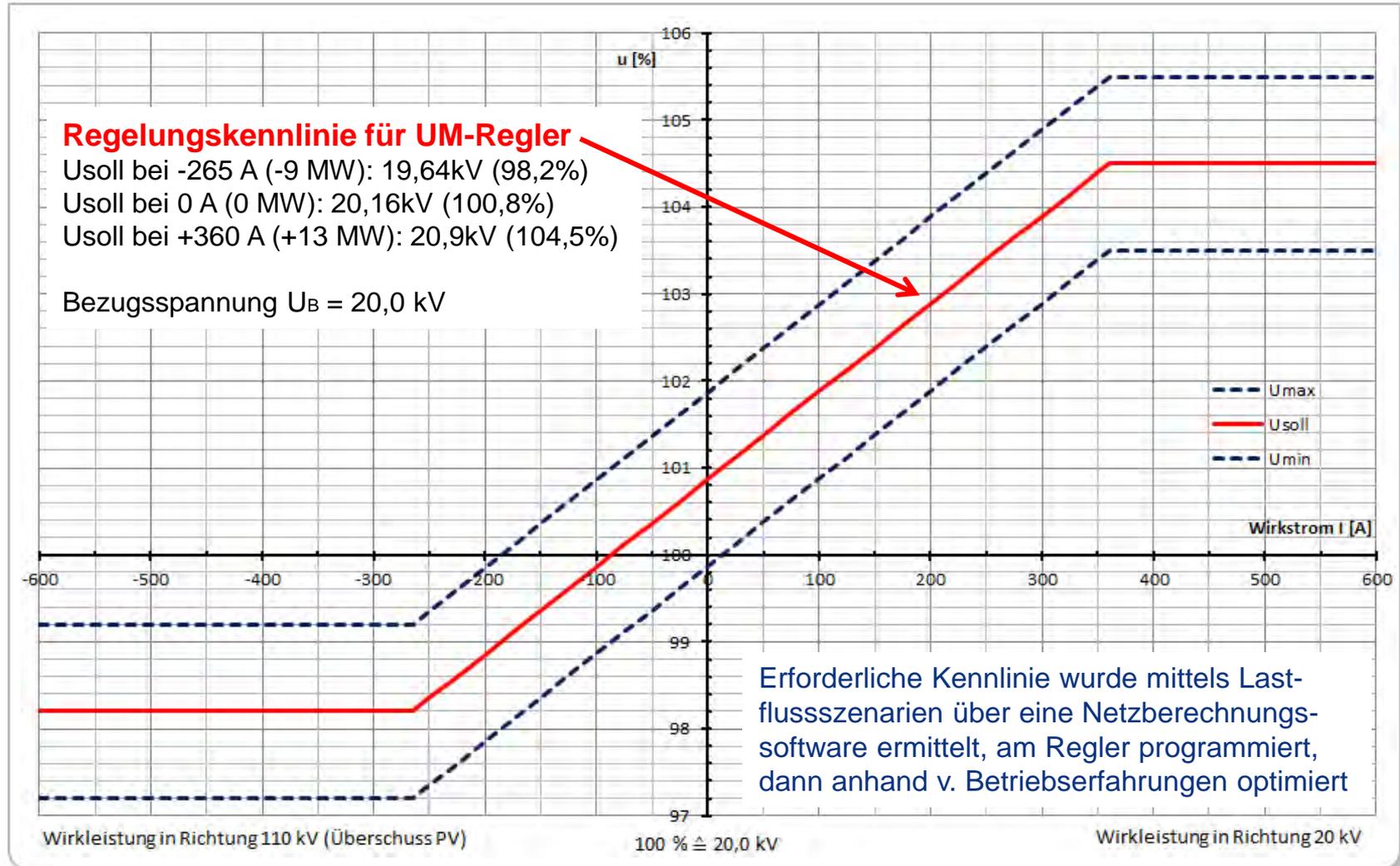
Quelle der Grafik: Vortrag Till Sybel, a-eberle anlässlich der Smart Grid Week in Bregenz am 24.5.2012

Klassische Spannungsregelung im Umspannwerk → Reglersollwert 16.-23. Juli 2012

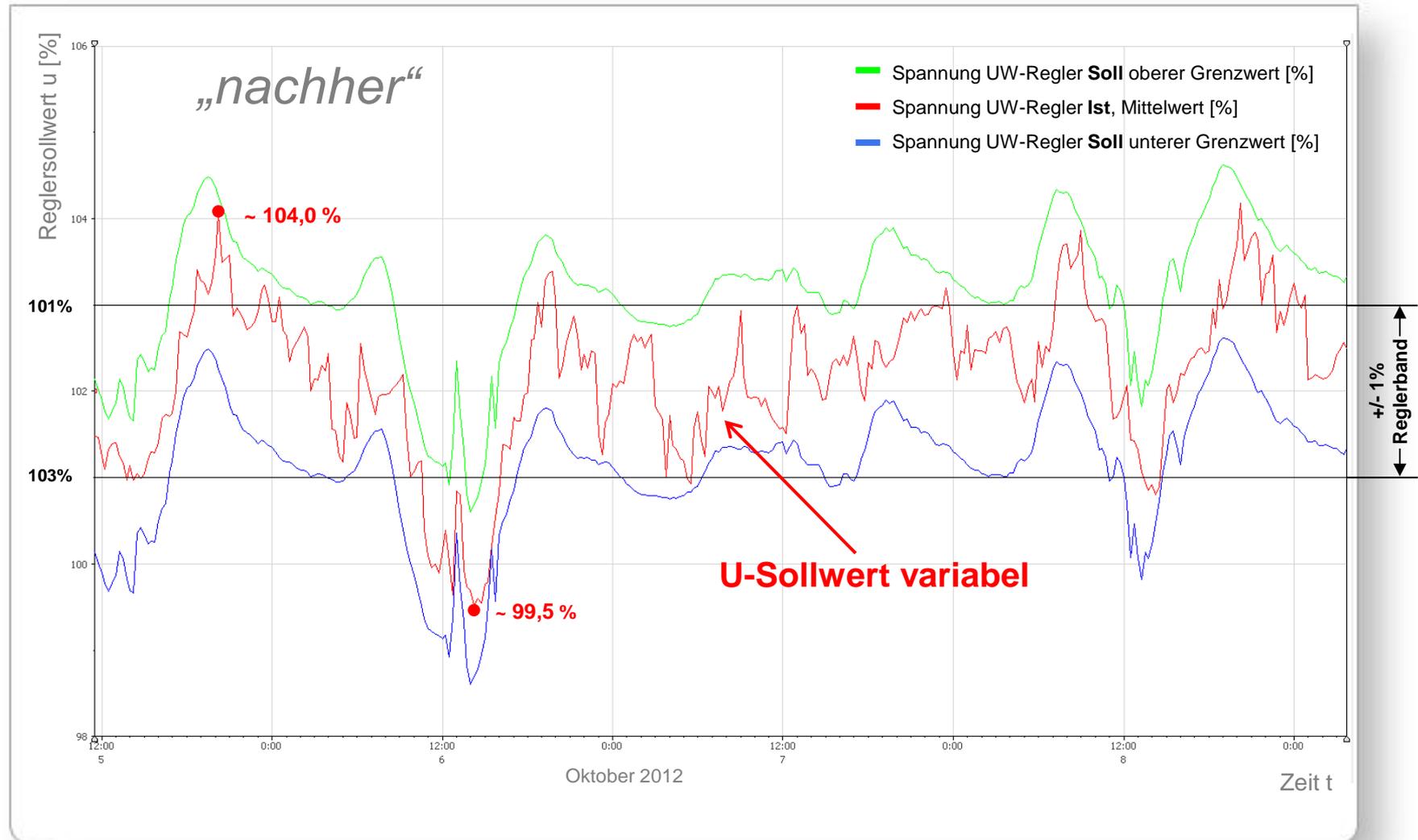


Stromkompoundierung im Umspannwerk

Regelungskennlinie zur Einstellung der Sollspannung in Abhängigkeit des Wirkleistungsflusses

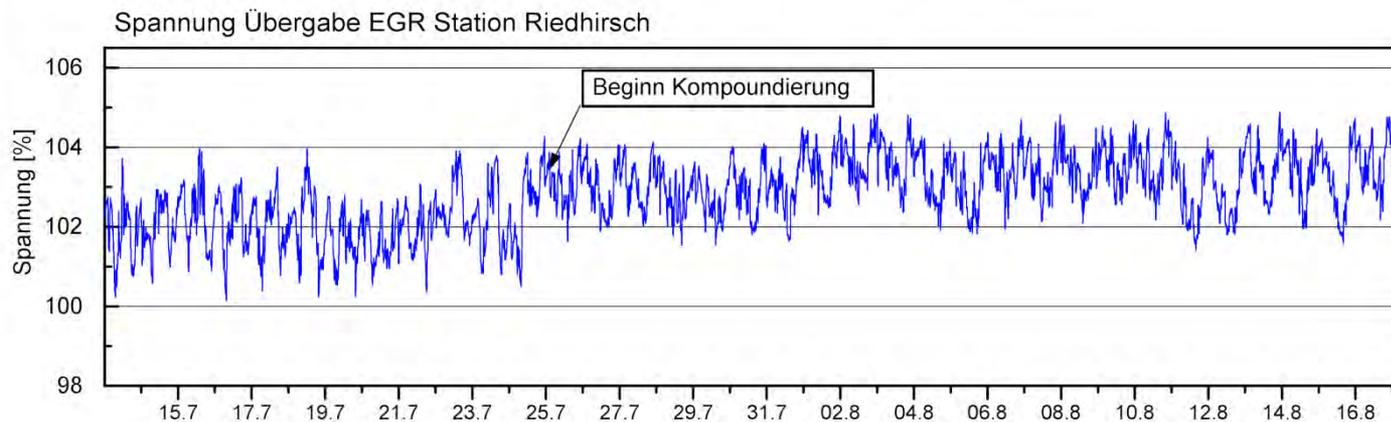
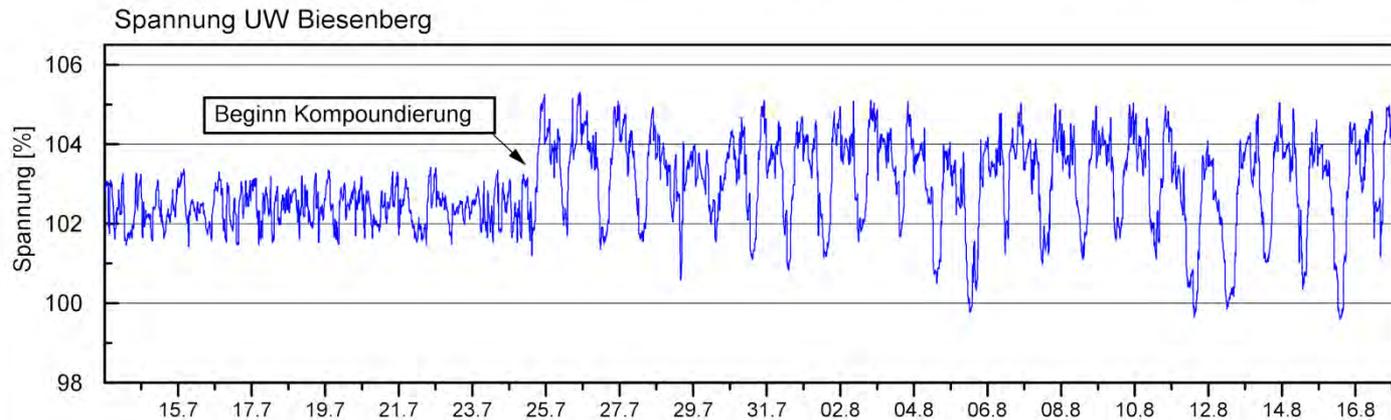


Stromkompoundierung im Umspannwerk → Reglersollwert 5.-9. Oktober 2012



Änderung der Spannungshaltung in Netz

Auswertung MS-Messung UW Biesenberg - EGR von 13.07.2012 - 17.08.2012



Einsatz von Maßnahmen bei PV-Zunahme

- **Zunehmende Herausforderung** der Netzintegration von PV-Anlagen; Lastflussumkehr im Verteilernetz, Wirkleistungsrückspeisung 110kV-Netz
- Unterschiedliche Strategien zur Beherrschung des Spannungsproblems
- Maßnahme jeweils situativ passend (in vielen Fällen wird ein Mix der Lösungsvarianten sinnvoll sein)
 - **Spannungsabhängige Blindleistungsregelung durch Q(U)-WR**
cos phi 0,85 ue/üe (bzw. teils auch fixe $\cos\varphi$ -Vorgabe, mitunter $\cos\varphi(P)$ -Kennlinienvorgabe)
 - **Wirkstromkompoundierte Spannungsregelung im 110kV/MS - UW**
geeignet bei homogen verteilter PV-Einspeisung
 - **Konventioneller Netzausbau** (jedenfalls ab Erreichen therm. Grenze $I >$)
 - **Fernregelung** als UW-Spannungsregelung auf Basis externer Messwerte (**Smart Grid**) – geeignet bei inhomogenen Verhältnissen (Einspeiser , Lasten)
 - **Regelbare Ortsnetztrafos**, usw.

Kombination Q(U) und Kompoundierung

- NS-Netze können ca. die 3-fache PV-Energie aufnehmen (aus Sicht der Spannungsanhebung) gegenüber heutiger Ausstattung
- Notwendige NS-Kabellegungen erfolgen dann zukünftig meist aus Stromgründen und nicht wie bisher meist aus Spannungsgründen
- Zusammengefasst stellt sich die **Kombination Q(U)-fähiger Wechselrichter in den PV-Anlagen mit einer wirkstromkompoundierten Spannungsregelung in den 110kV-Umspannwerken** als volkswirtschaftlich interessante Netzstrategie dar (bietet viel zusätzliche Netzdienstleistung um relativ wenig Geld)
- Vorarlberg Netz setzt nun primär auf diese beiden Maßnahmen

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**

Reinhard Nenning

Dipl.-HTL-Ing.

Vorarlberger Energienetze GmbH

Netzplanung und Power Quality

6900 Bregenz, Weidachstraße 10

Telefon: +43 5574 9020-73720

Fax: +43 5574 9020-78511

E-mail: reinhard.nenning@vorarlbergnetz.at