Integration von Photovoltaikanlagen in Verteilungsnetze

Dr. Thomas Degner, Dr. Gunter Arnold, Dominik Geibel, Thorsten Reimann,
Dr. Philipp Strauß
Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik – Fraunhofer IWES

Dr. Bernd Engel, Dr. Thorsten Bülo
SMA Solar Technology AG

Kasseler Symposium Energie-Systemtechnik 6.-7. Oktober 2011, Kassel

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

Integration von Photovoltaikanlagen in Verteilungsnetze

- Einleitung
- Netzintegration
- Möglichkeiten zur Spannungshaltung
  - Blindleistungsbereitstellung
  - Aktive Netzelemente
  - Wirkleistungsmanagement
- Zusammenfassung

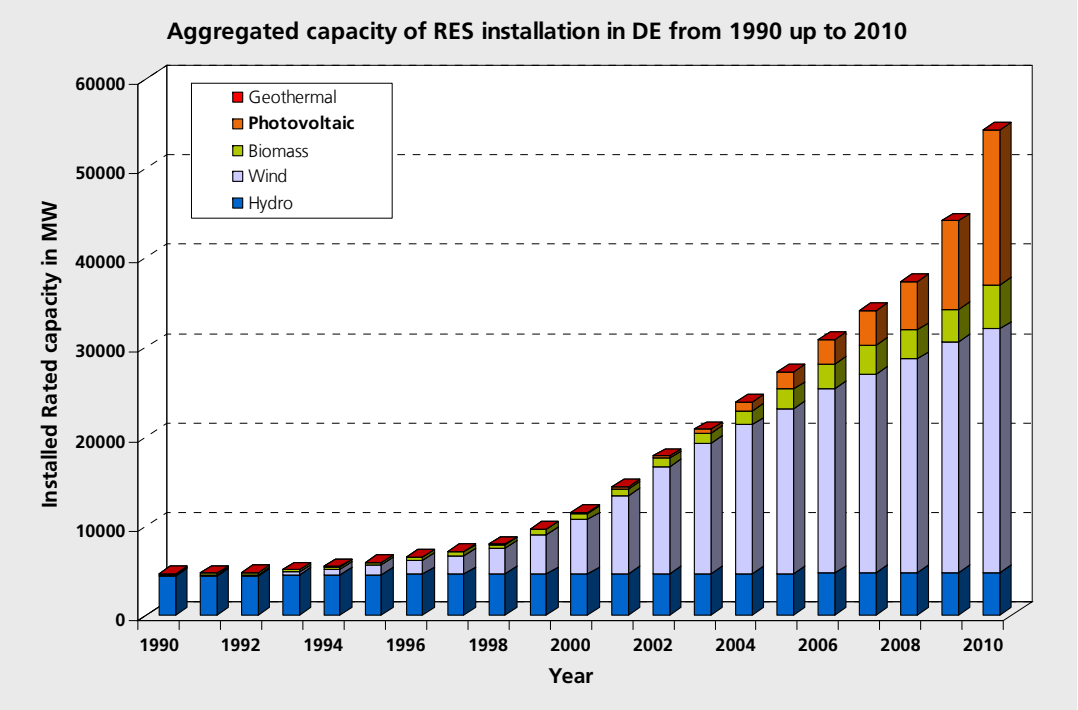
21 MWp PV Anlage in Fuldatal/ Kassel

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

1. Einleitung
Erzeugungskapazitäten in Deutschland

- Erzeugungskapazität in Deutschland
  - 137.5 GW (in 2009)
  - 46 GW Erneuerbare
- Wind
  - Wachstum seit 1994
  - 27 GW in 2010
- PV
  - Wachstum seit 2004
  - 17.3 GW in 2010
  - 52 GW in 2020[1]



Daten: Erneuerbare Energien in Zahlen, BMU, 2010

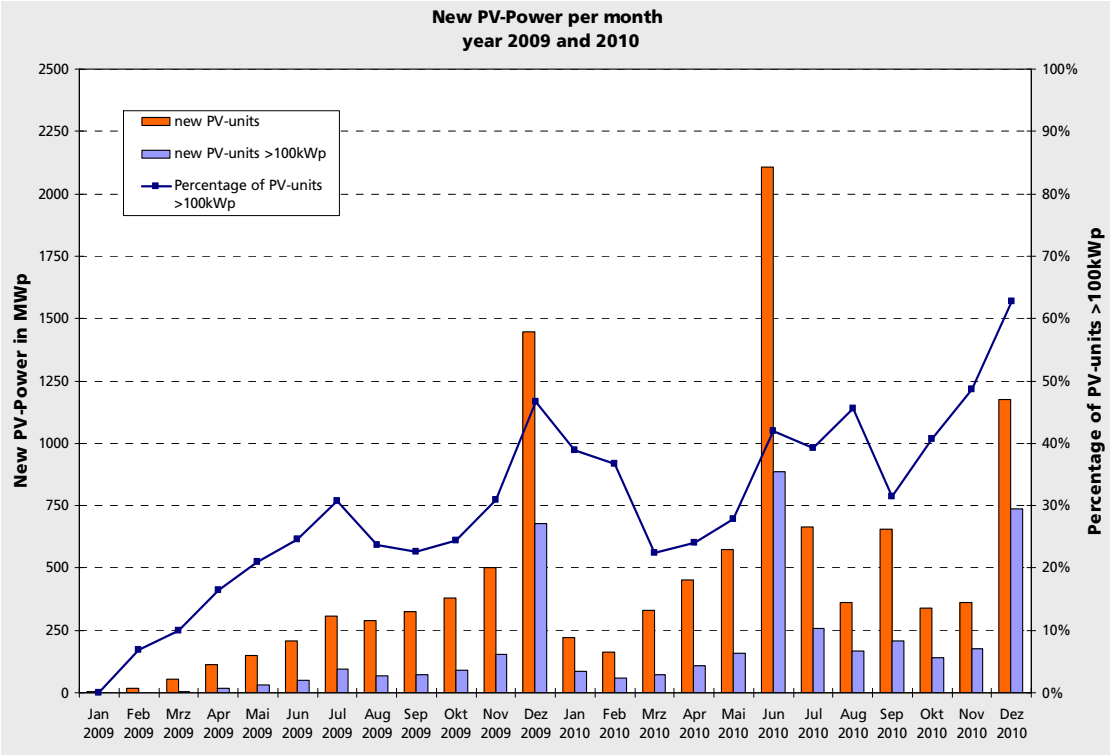
[1]: Nationaler Entwicklungsplan für erneuerbare Energien

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

1. Einleitung
Anschluss von PV-Anlagen

- Netzanschluss von PV-Anlagen historisch v.a. im NS-Netz
- Anschluss von PV-Systemen im Mittel- und Hochspannungsnetz
  - ≈18%[1] (Ende 2008)
- Jan. 2009 bis Dez. 2010
  - 11210 MW_p neu installierte PV-Leistung
  - Anteil von PV-Anlagen mit Nennleistung > 100kWp: 4328 MWp (38%)
- Thematik der Netzintegration für PV auf Verteilnetzebene



Eigene Darstellung; Zahlen: Meldung neuinstallierter PV-Anlagen der BNetzA

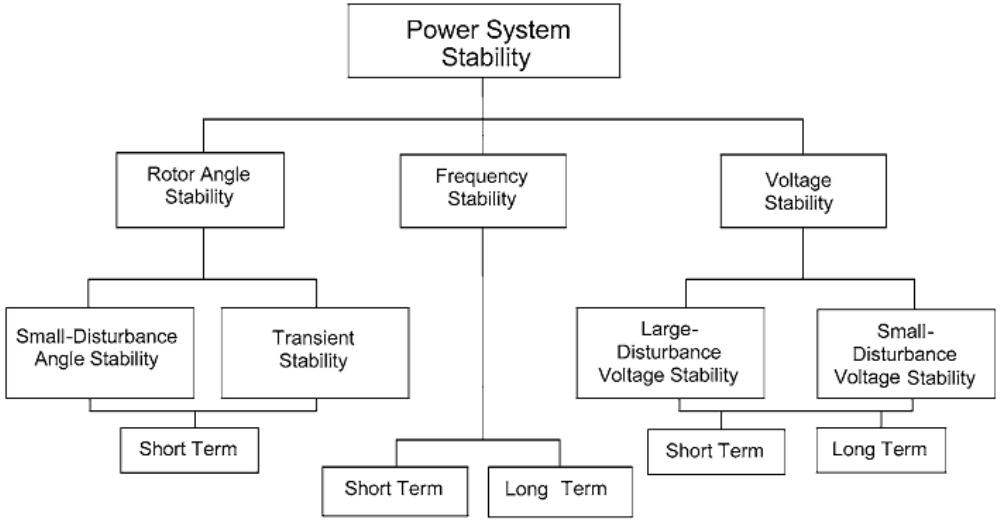
[1]EEG Statistikbericht 2008; BNetzA

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

2. Netzintegration
Randbedingungen

- Stabilität des Energieversorgungssystem
  - Polrad-Winkel Stabilität
  - Frequenz-Stabilität
  - Spannungs-Stabilität
- Grenzen des Netzes
  - Belastbarkeit von Kabel, Leitungen, Transformatoren und weiteren Betriebsmitteln
  - Spannungsqualität
    - Statische Spannungsgrenzen
    - Harmonische
    - …
- Netz- / Anlagenschutz



Quelle: Definition and Classification of Power System Stability, IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions, IEEE Transactions on Power Systems, Prabha Kundur et. al.

© Fraunhofer IWES
Fraunhofer IWES

2. Netzintegration
Herausforderungen

- Herausforderungen bei der Integration von PV-Anlagen unterscheiden sich grundsätzlich von denen bei der Windenergie

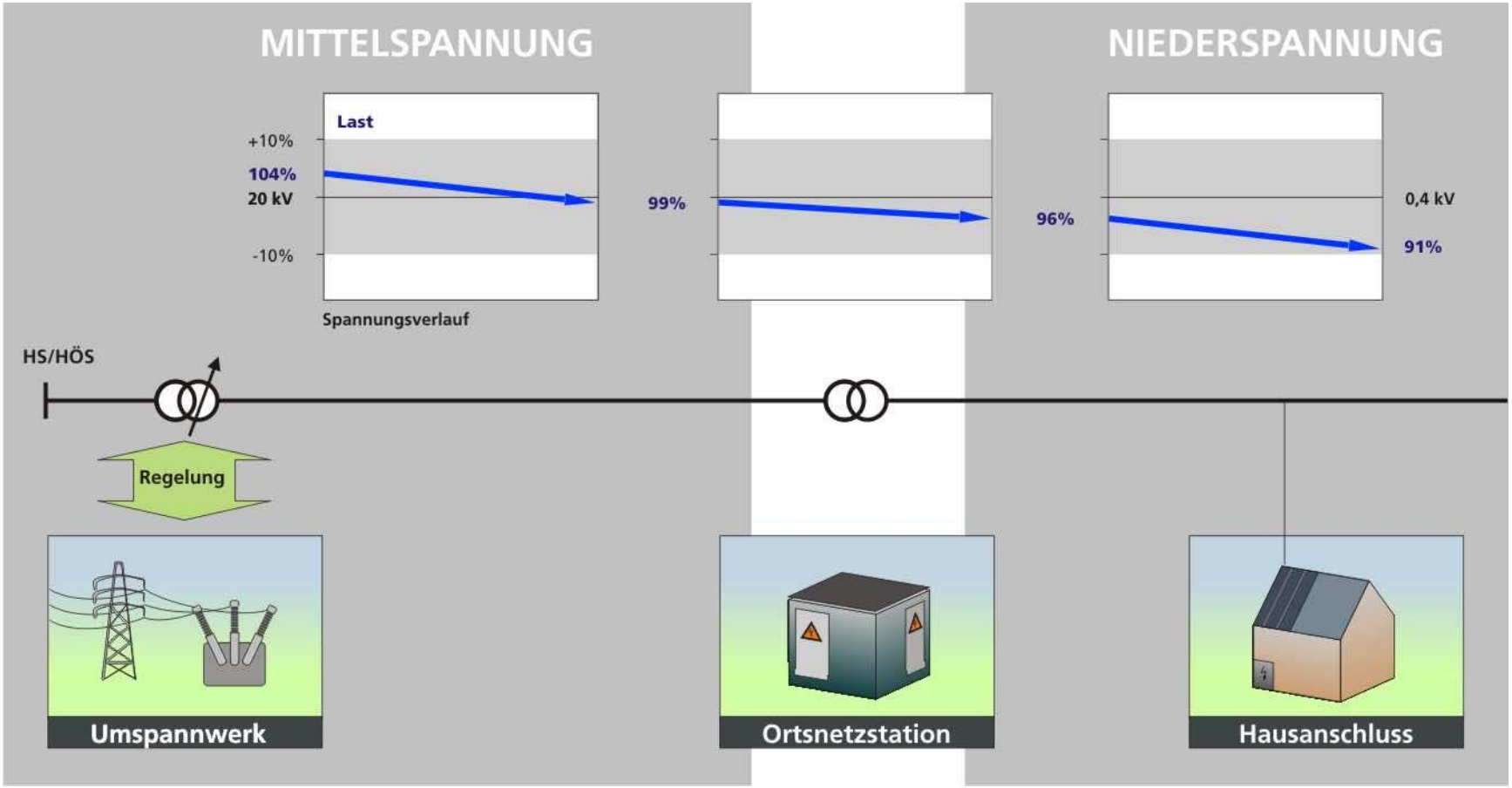
	Wind	Photovoltaik
Spannungsebene	Mittelspannung (42% d. inst. Leistung, 2009) Hochspannung (48% d. inst. Leistung, 2009)	Niederspannung (79% d. inst. Leistung, 2009) Mittelspannung (20% d. inst. Leistung, 2009)
Anlagenstandorte	Norden	Süden
vorwiegender Produktionszeitraum	Herbst bis Frühjahr ganztags	Frühjahr bis Herbst tagsüber
Netzanschluss	separat	Hausanschluss (häufig)
Engpass	Übertragungskapazität	Spannungsabweichungen beim Verbraucher

Quelle: Kathrin Büdenbender, Technische Voraussetzungen einer Netzentlastung durch Eigenverbrauch, 7. Fachgespräch der Clearingstelle EEG „Eigenverbrauch von Solarstrom“, Berlin, 15. Oktober 2010

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

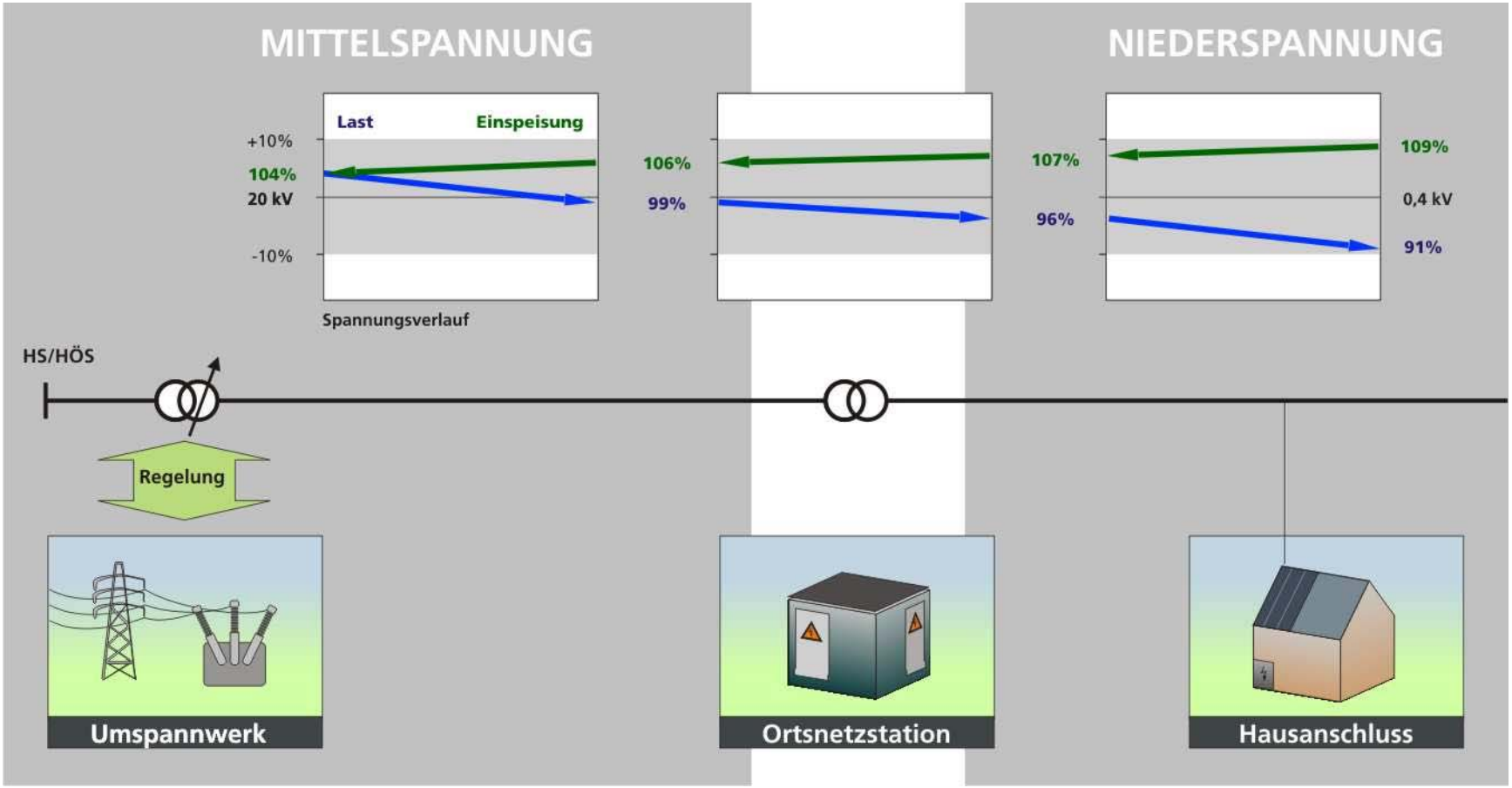
2. Netzintegration
Spannungshaltung im Verteilnetz



© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

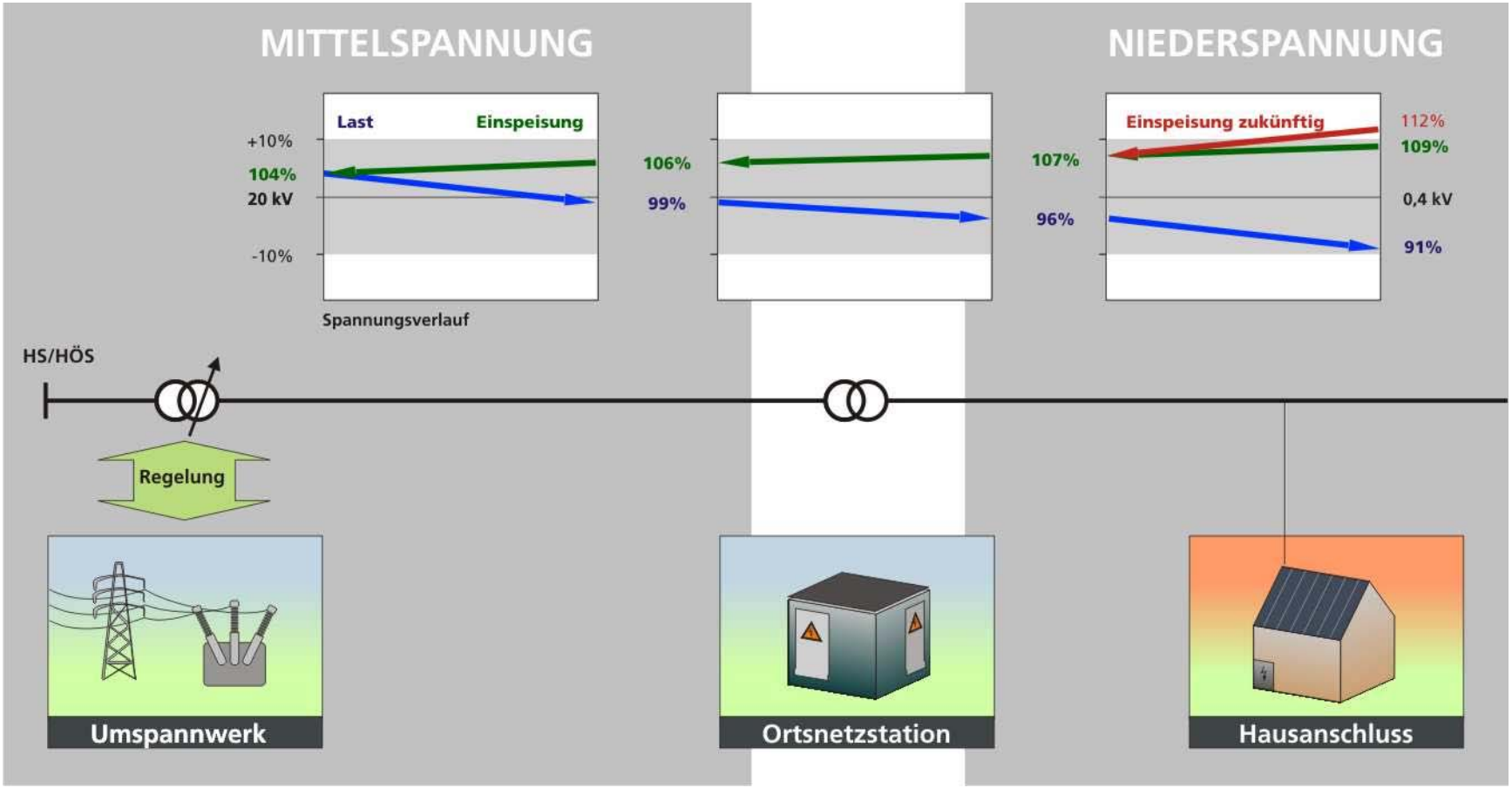
2. Netzintegration
Spannungshaltung im Verteilnetz



© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

2. Netzintegration
Spannungshaltung im Verteilnetz

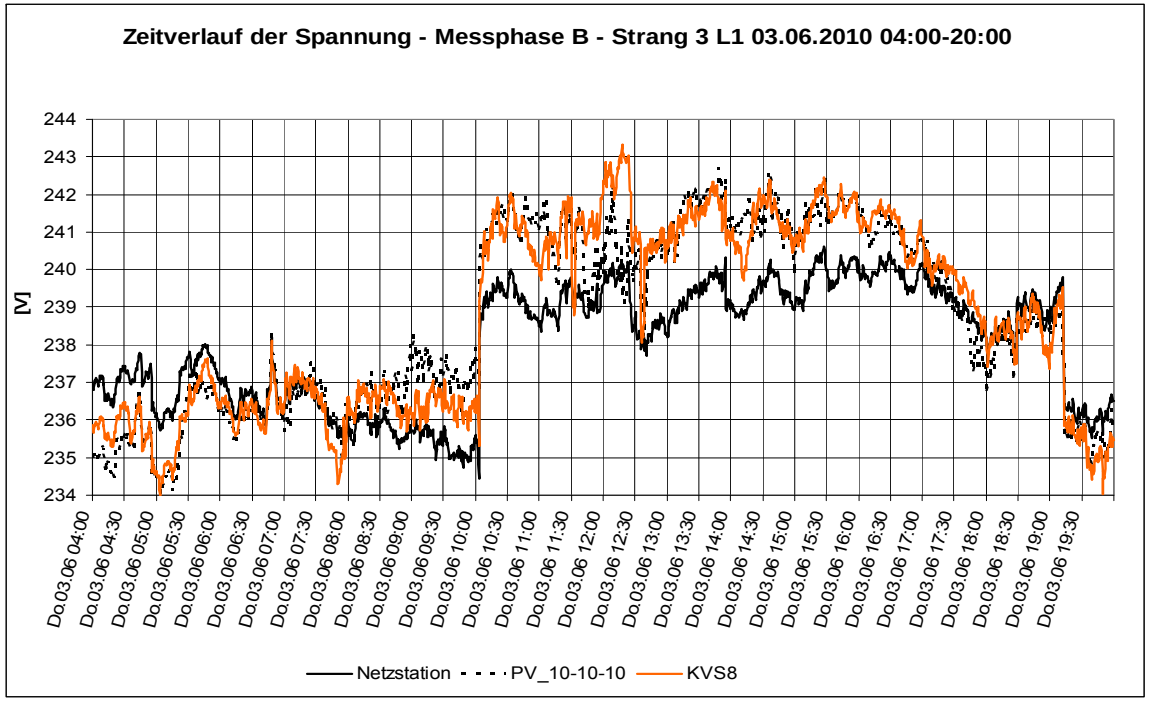


© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

2. Netzintegration
Spannungshaltung im Verteilnetz

- Zunahme der Spreizung des Spannungsbandes durch fluktuierende Einspeisung
- Keine Entkopplung zwischen MS- und NS-Netz
  - Vorhandene Netzregelung (Schaltung Trafo HS/MS) wirkt sich auch auf NS-Ebene aus



Quelle: Dr. T. Degner et. al., Intelligentes Verteilnetz – Lastmanagement und dezentrale Erzeugung, VDE Kongress 2010

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

2. Netzintegration
Lösungsansätze

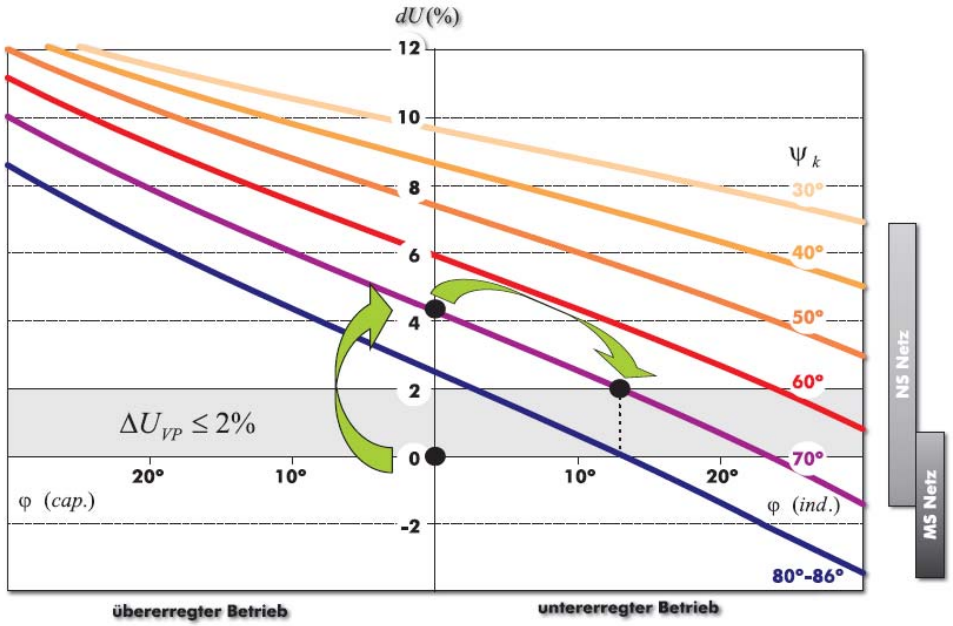
- Übertragungsnetz (HS/HöS)
  - Herausforderungen
    - Erzeugung nicht bei Lastzentren
    - Integration von Off-Shore Windparks
  - Lösungsansätze
    - Netzverstärkung bzw. -ausbau
    - Netzdienstleistungen
    - Zentrale Speicher
    - FACTS
- Verteilnetz (MS/NS)
  - Herausforderungen
    - Bidirektionale Leistungsflüsse
    - Einhaltung des Spannungsbandes
  - Lösungsansätze
    - Wirk-/Blindleistungs-Management (Grid Codes)
    - Aktive Netzelemente
    - Lastmanagement
    - Lokale Speicher
    - Netzverstärkung bzw. -ausbau

© Fraunhofer IWES
Fraunhofer IWES

3. Möglichkeiten zur Spannungshaltung
Blindleistungsbereitstellung

- Gezielte Spannungsänderung durch Regelung des Einspeisewinkels φ der PV-Anlage
- Netzparameter am Netzanschlusspunkt:
  - ψ_k : Netzimpedanzwinkel
  - S_{kV}: Netz-Kurzschlussleistung
- Parameter der PV-Anlage:
  - S_{Amax}: max. Scheinleistung
  - φ : Phasenwinkel zwischen Strom und Spannung

$$\Delta u_{aV} = \frac{S_{Amax} \cdot \cos(\Psi_{kV} + \varphi)}{S_{kV}}$$



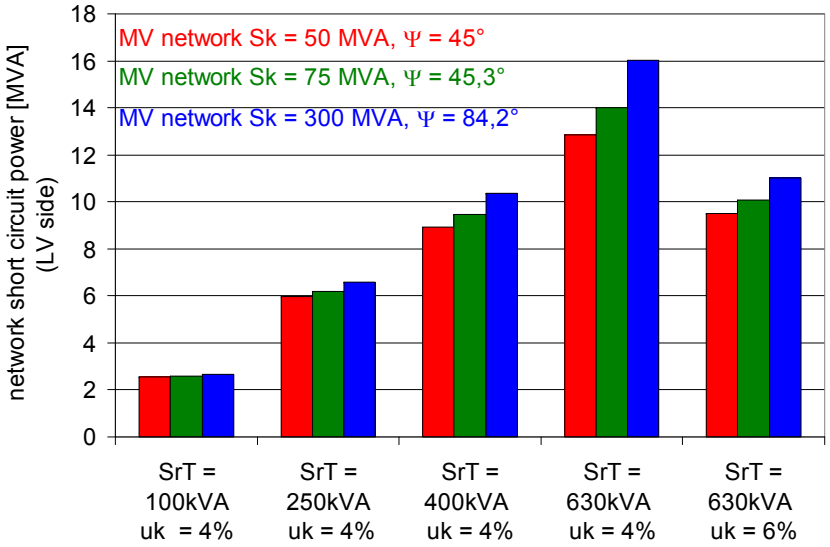
Quelle: B. Valov, Volle Nutzung der Netzkapazität und Spannungsstabilisierung durch neues Auslegungskonzept für PV-Kraftwerke, 24. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, 2009

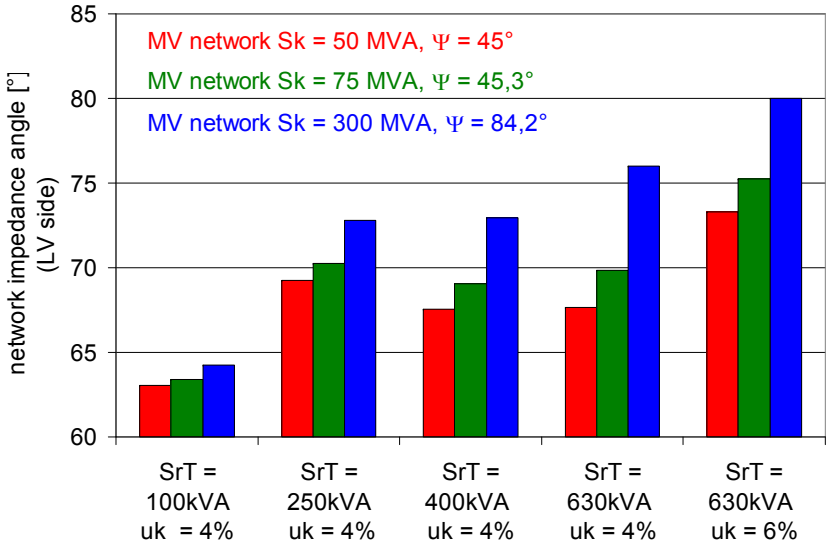
© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

3. Möglichkeiten zur Spannungshaltung
Blindleistungsbereitstellung – Einfluss der Netzparameter

- S_k und Ψ_k an der Niederspannungssammelschiene der Ortnetzstation
  - S_k und Ψ_k hängen überwiegend vom eingesetzten Transformator ab
  - Netzkurzschlussleistung (S_k) kann gut durch die Scheinleistung (S_{rT}) und der Kurzschlussspannung (u_k) des Transformators abgeschätzt werden





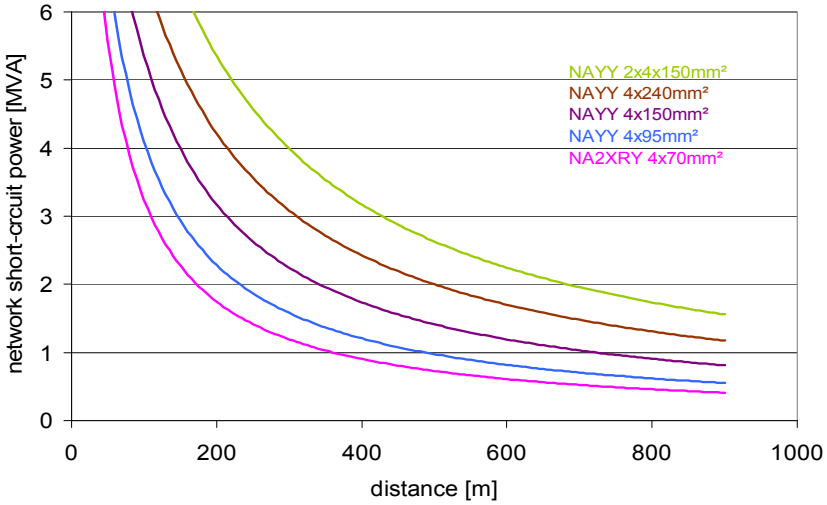
Quelle: Dr. T. Degner et. al, Mehr PV ans Netz! Möglichkeiten der aktiven Spannungsregelung im Niederspannungsnetz zur Erhöhung der Aufnahmefähigkeit für Photovoltaik-Anlagen, 26. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, 2011

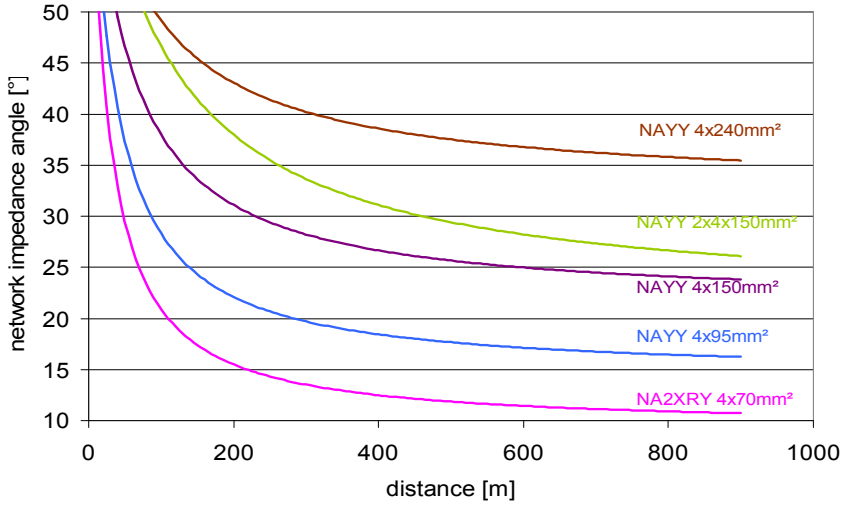
© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

3. Möglichkeiten zur Spannungshaltung
Blindleistungsbereitstellung – Einfluss der Netzparameter

- Einfluss verschiedener Kabeltypen
  - S_k und Ψ_k nehmen mit zunehmenden Abstand zur Ortsnetzstation ab
  - Der Kabeltyp bestimmt wie schnell S_k and Ψ_k abnehmen
  - Für große Entfernungen überwiegt der Einfluss des Kabeltyps.
- Beispiel: 600m Entfernung, NAYY 4x150mm² → S_k = 1,2 MVA; Ψ_k = 25°





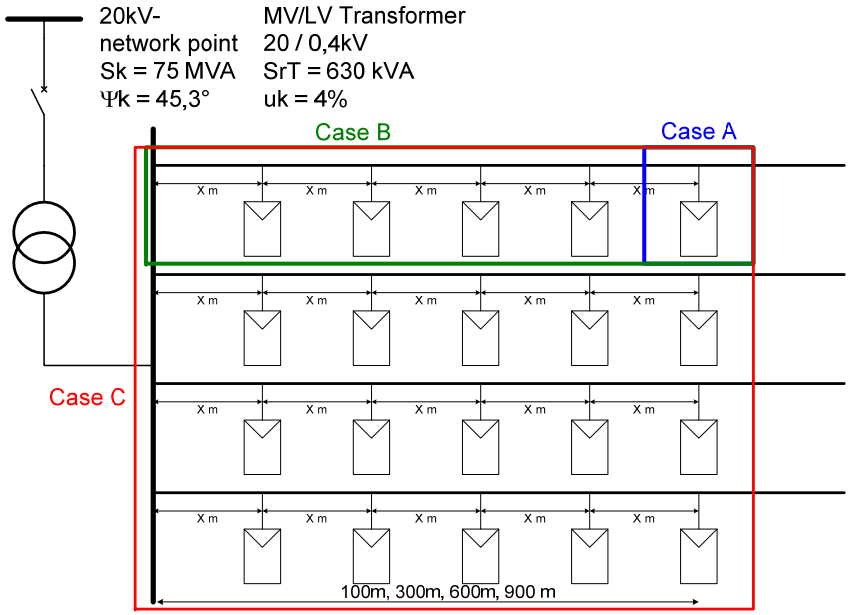
Quelle: Dr. T. Degner et. al, Mehr PV ans Netz! Möglichkeiten der aktiven Spannungsregelung im Niederspannungsnetz zur Erhöhung der Aufnahmefähigkeit für Photovoltaik-Anlagen, 26. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, 2011

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

3. Möglichkeiten zur Spannungshaltung
Blindleistungsbereitstellung – Potenzial

- Fallstudien zu generischen Netzen
  - Fall A: Netz mit einem Strang, eine PV-Anlage
  - Fall B: Netz mit einem Strang, 5 PV-Anlagen
  - Fall C: Netz mit 4 Strängen, jeder Strang mit 5 PV-Anlagen
- Verschiedene Stranglängen wurden untersucht (100m, 300, 600, 900m)



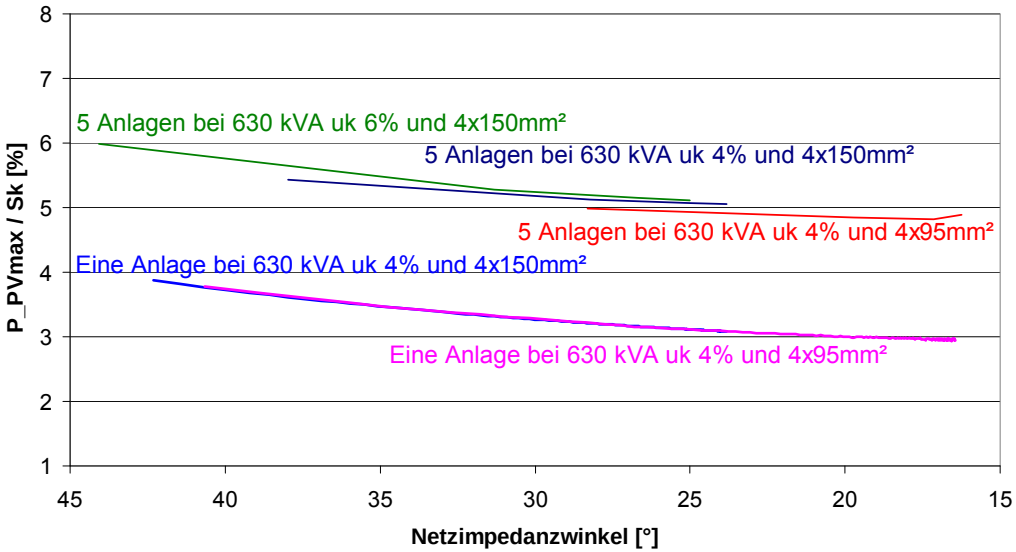
Quelle: Dr. T. Degner et. al, Mehr PV ans Netz! Möglichkeiten der aktiven Spannungsregelung im Niederspannungsnetz zur Erhöhung der Aufnahmefähigkeit für Photovoltaik-Anlagen, 26. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, 2011

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

3. Möglichkeiten zur Spannungshaltung
Blindleistungsbereitstellung – Potenzial

- Verschiebefaktor cos φ=1, max. Spannungsanstieg 3%)
  - S_k und Ψ_K am Ende vom Strang sind ausreichende Größen, um die maximal anschließbare PV Leistung zu bestimmen
  - Die serielle Anordnung von PV-Systemen führt zu einer größeren anschließbaren Leistung aufgrund des geringeren Spannungsanstiegs von PV Anlagen mit stärkeren Netzanschlusspunkten
  - Der Fall C (parallele Stränge) führt zu ähnlichen Kurven, aber die Leistung pro Strang ist geringer, da die Spannung der Sammelschiene an der Ortsnetzstation größer ist



Letzter Anschlusspunkt (100m bis 900m vom Transformator entfernt)

Beispiel:

(S_k = 1,2 MVA, Ψ_k = 25°)

- 1 PV Anlage: P_pv/Sk = 3% (37kW)
- 5 PV Anlagen: P_pv/Sk = 5% (insgesamt 60 kW)

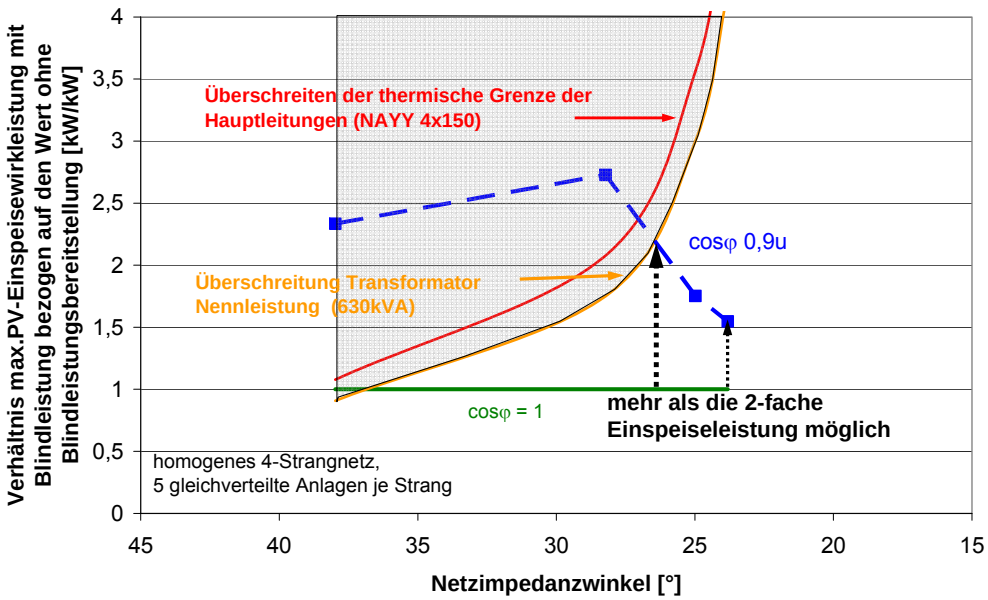
Quelle: Dr. T. Degner et. al, Mehr PV ans Netz! Möglichkeiten der aktiven Spannungsregelung im Niederspannungsnetz zur Erhöhung der Aufnahmefähigkeit für Photovoltaik-Anlagen, 26. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, 2011

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

3. Möglichkeiten zur Spannungshaltung
Blindleistungsbereitstellung – Potenzial

- Fall C:
  - 4 Stränge, 5 PV-Systeme pro Strang, cos φ=0.9, max. Spannungsanhebung 3%
- Der relative Anstieg der anschließbaren PV-Anlagenleistung aufgrund von Spannungsregelung durch Blindleistung variiert für den Fall C zwischen dem Faktor 1.5 und mehr als 2.
- Bei größeren Netzimpedanzwinkeln (oder kürzeren Strängen) werden die thermischen Grenzen des Ortsnetztransformators oder der Kabel erreicht.



Beispiel:

(S_k = 1,2 MVA, Ψ_k = 25° , 4x5 PV Anlagen)

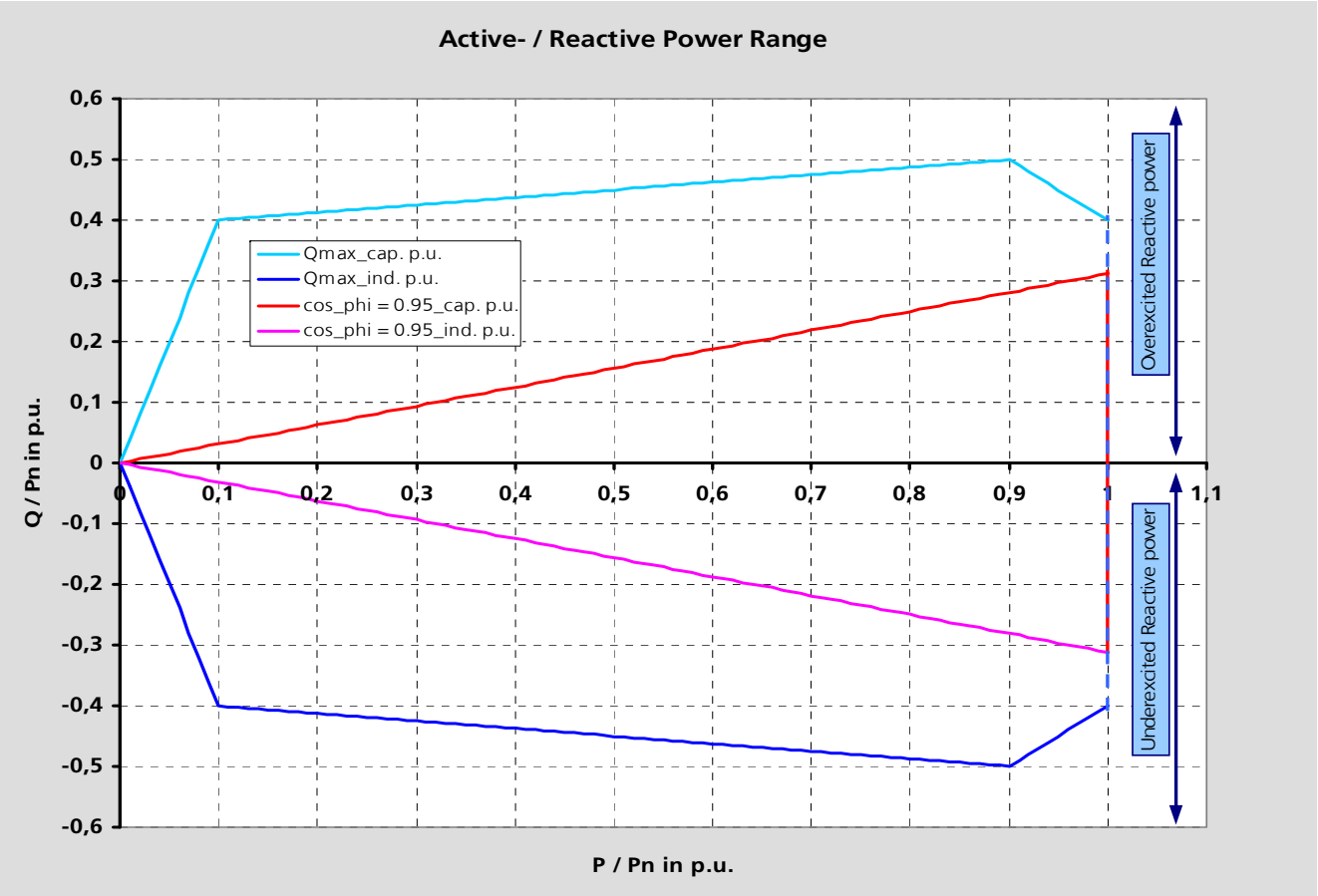
- cosphi=1: insgesamt 216 kW anschliessbar
- cosphi=0.9: insgesamt 378 kW anschliessbar (Faktor 1.75)

Quelle: Dr. T. Degner et. al, Mehr PV ans Netz! Möglichkeiten der aktiven Spannungsregelung im Niederspannungsnetz zur Erhöhung der Aufnahmefähigkeit für Photovoltaik-Anlagen, 26. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, 2011

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

3. Möglichkeiten zur Spannungshaltung
Blindleistungsbereitstellung – Betriebsbereich

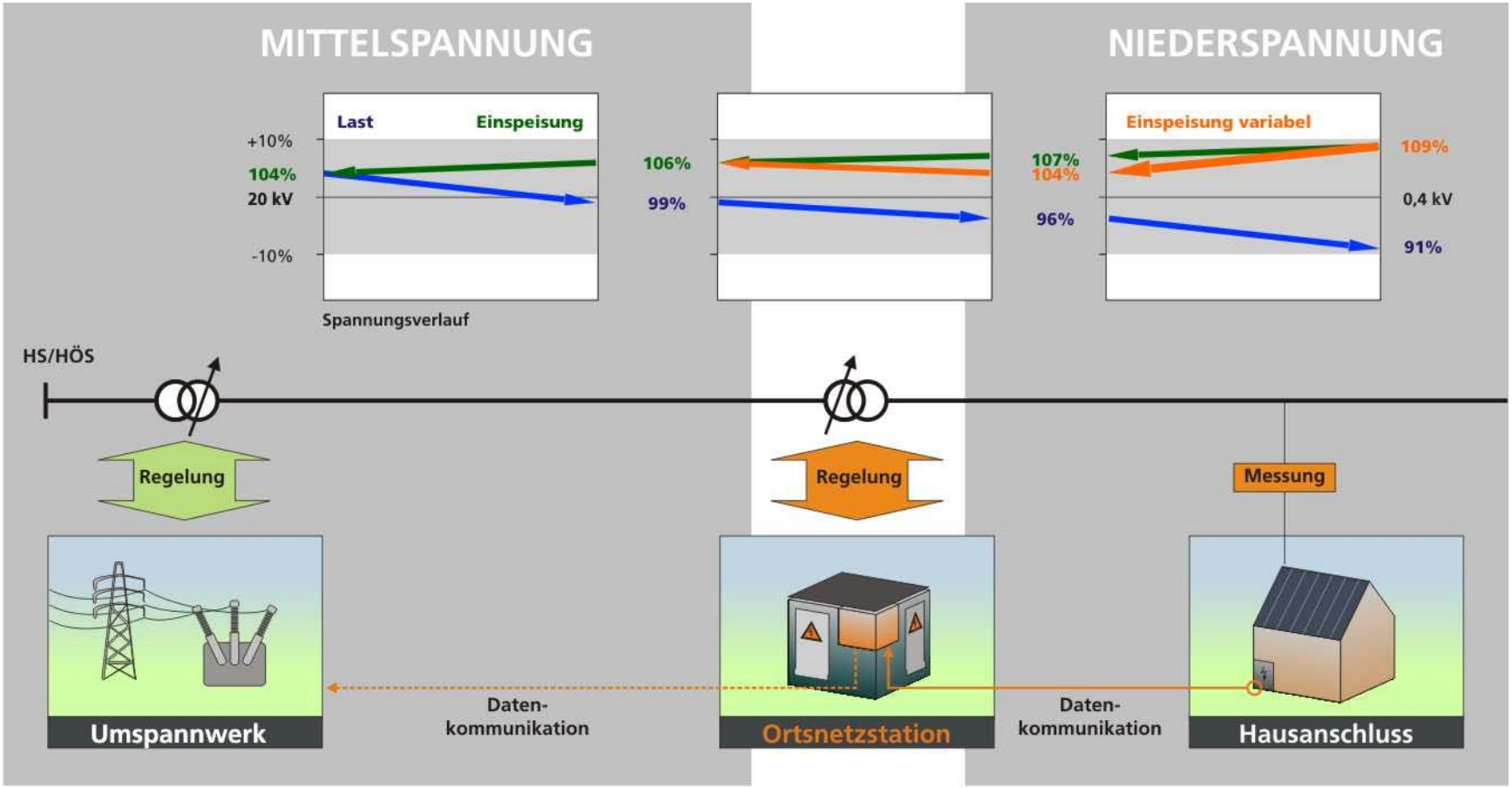


Wirk- /Blindleistungsdiagramm eines Photovoltaik Wechselrichters

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

3. Möglichkeiten zur Spannungshaltung
Aktive Netzelemente – Regelbare Ortsnetzstation

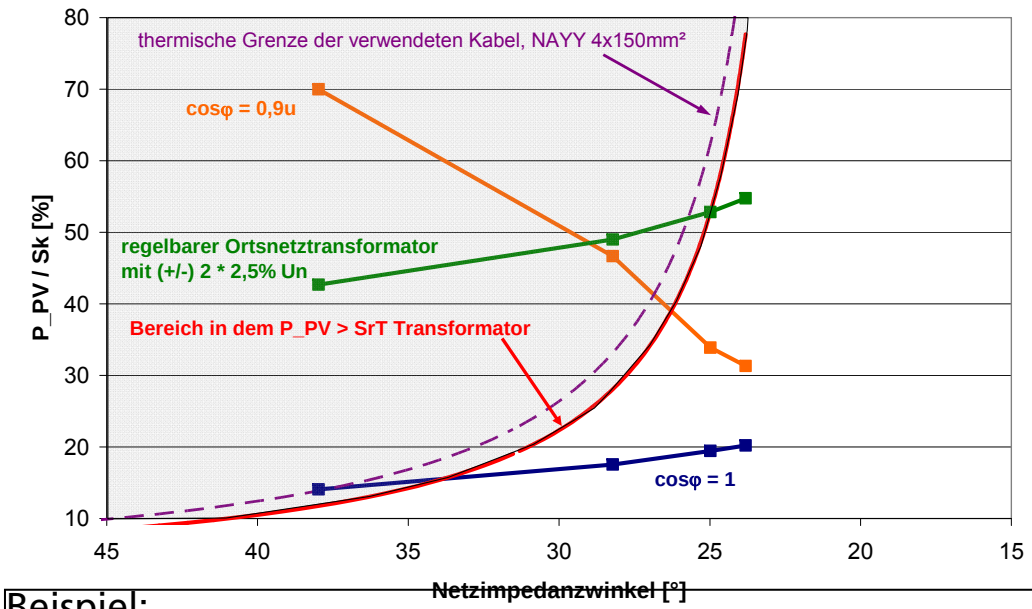


© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

3. Möglichkeiten zur Spannungshaltung
Aktive Netzelemente – Regelbare Ortsnetzstation

- Verbesserte Ausnutzung des verfügbaren Spannungsbereichs (Fall C: 4 Stränge, 5 PV-Systeme pro Strang)
- Regelbare Ortsnetztransformatoren sind eine weitere Möglichkeit zur Spannungsregelung im Niederspannungsnetz
- Annahmen:
  - Transformator mit Stufen 2x +/- 2.5%
  - erlaubter Spannungsanstieg steigt von 3% auf 8%
- Ergebnis:
  - maximale Anschlussleistung steigt um den Faktor 2.7
  - Besonders wirksam für lange Netzausläufer



Beispiel:

(S_k = 1,2 MVA, Ψ_k = 25° , 4x5 PV Anlagen)

- cosphi=1: insgesamt 216 kW anschließbar
- cosphi=0.9: insgesamt 378 kW anschließbar
- Regelb. Trafo: insgesamt 538 kW anschließbar

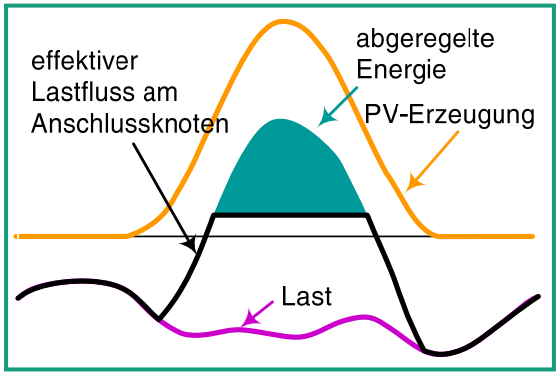
Quelle: Dr. T. Degner et. al, Mehr PV ans Netz! Möglichkeiten der aktiven Spannungsregelung im Niederspannungsnetz zur Erhöhung der Aufnahmefähigkeit für Photovoltaik-Anlagen, 26. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, 2011

© Fraunhofer IWES

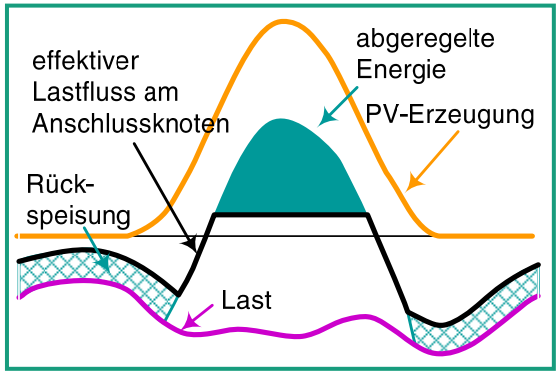
Fraunhofer IWES

3. Möglichkeiten zur Spannungshaltung
Wirkleistungsmanagement

- Wirkleistungsabregelung
  - Reduktion der eingespeisten Wirkleistung bei Gefahr eines Überschreitens des Spannungsbands
  - Kosten: Wert der Energie, die durch Abregelung verloren geht



- Peak-Shaving mit Speichereinsatz
  - Speicherung der überschüssigen Wirkleistung bei Gefahr eines Überschreitens des Spannungsbands
  - Kosten: Investition in Speicher Wirkungsgradverluste



Quelle: Kathrin Büdenbender, Technische Voraussetzungen einer Netzentlastung durch Eigenverbrauch, 7. Fachgespräch der Clearingstelle EEG „Eigenverbrauch von Solarstrom“, Berlin, 15. Oktober 2010

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES

4. Zusammenfassung

- Maßnahmen zur Netzintegration abhängig von Technologie
- Aktuelle Herausforderung für Verteilnetze ist die Einhaltung des Spannungsbands
- Unterschiedliche Lösungsansätze für Spannungshaltung vorhanden
  - Blindleistungsmanagement, Regelbare Ortsnetzstationen, Wirkleistungsmanagement, …
- Anwendung wird durch Netzcharakteristik beeinflusst
  - Verwendung der Netz-Kurzschlussleistung und Netz-Impedanzwinkel am Ende eines Netzstrangs (bzw. am schwächsten Anschlusspunkt) zur Bestimmung der maximal erlaubten Anschlussleistung für dezentrale Generatoren an radiale Niederspannungsnetze
  - Für die untersuchten generischen Netze wurde gezeigt, dass durch Blindleistungsregelung in Niederspannungsnetzen die anschließbare PV Leistung um den Faktor 1.5 bis mehr als 2 erhöht werden kann. Dies unterstreicht die Wichtigkeit von blindleistungsfähigen PV-Wechselrichtern.
  - In langen Netzausläufern ist die Möglichkeit der Spannungsbeeinflussung durch Blindleistung relativ begrenzt. Besonders hier bietet sich der Einsatz von regelbaren Ortnetztransformatoren an, die es erlauben an das Netz im Vergleich zum normalen Fall 2.7fach mehr PV Leistung anzuschließen.

© Fraunhofer IWES

Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit

Kontakt:

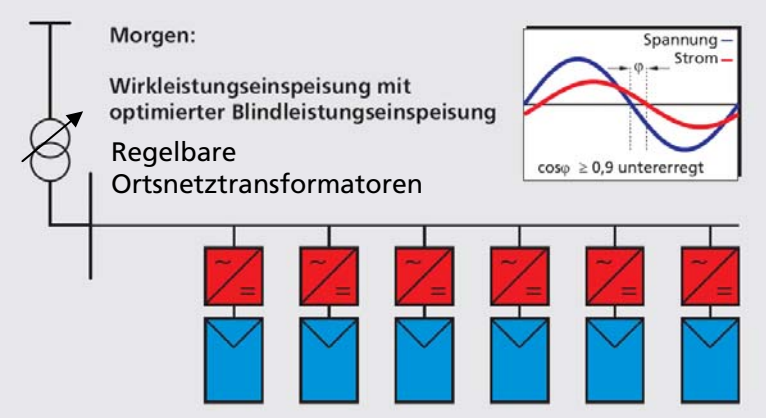
Dr. Thomas Degner, Fraunhofer IWES, 34119 Kassel

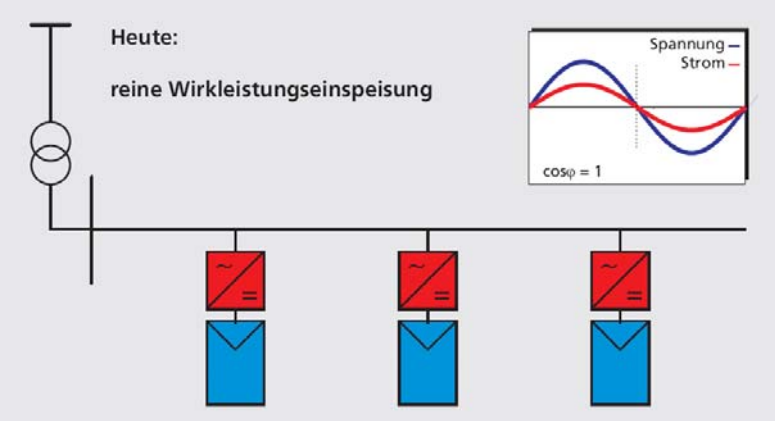
Thomas.degner@iwes.fraunhofer.de

Ko-Autoren:

Dr. Gunter Arnold, Dominik Geibel, Thorsten Reimann,

Dr. Philipp Strauß, Dr. Bernd Engel, Dr. Thorsten Bülo





Die Autoren danken dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und dem Projektträger Jülich für die Unterstützung in dem Projekt „Photovoltaische Energiemanagement Station - PV-EMS“ (FKZ 0325028) und “Aktives intelligentes Niederspannungsnetz” (FKZ 0325202B).

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

© Fraunhofer IWES

Fraunhofer IWES