



Energie-Forschungszentrum  
Niedersachsen

# SPANNUNGSREGELUNG IN NS-NETZEN DURCH DEN EINSATZ GEREGLTER ORTSNETZTRANSFORMATOREN

Dipl.-Ing. Andreas Becker (Vortragender)  
Dipl.-Ing. Benjamin Werter, Dipl.-Ing. Johannes Schmiesing,  
Dr.-Ing. Ernst-August Wehrmann

Graz, den 16.02.2012

# Gliederung

---

- Motivation / zentrale Fragestellungen
- Verwendete Last- und Erzeugungsstruktur
- Implementierte Reglerstruktur
- Potenzial der Spannungsregelung durch rONT im NS-Netz
  - Monosensorbetrieb
  - Multisensorbetrieb
- Wechselwirkung mit weiteren Spannungsreglern
  - Wechselwirkung mehrerer rONT
  - Wechselwirkung mit HS- / MS-Transformator
- Variation Stufenspannung und Stufenanzahl
- Fazit

# Motivation / zentrale Fragestellungen

---

Welche Möglichkeiten ergeben sich durch das zukünftige Betriebsmittel RONT?

- Entkopplung von MS- und NS-Netzebene?
- Spannungsschwankungen im NS-Netz ausregelbar?

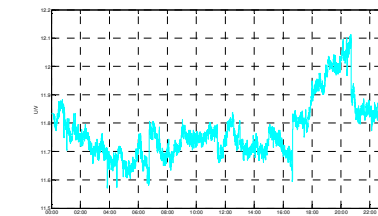
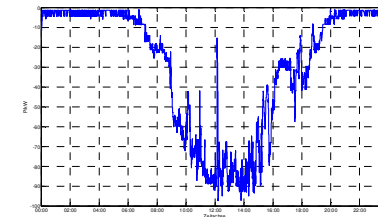
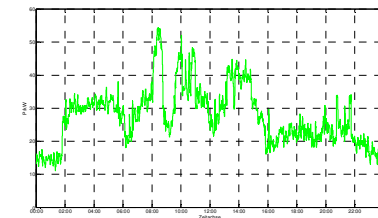
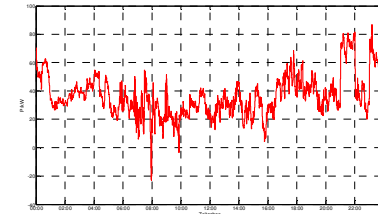
Dabei behandelte Punkte:

- Regelgröße?
- Stufenspannung?
- Stufenanzahl?
- Parallelbetrieb zweier Ortsnetztransformatoren - Schwingungsanregung?
- Zusammenspiel HS- / MS- und MS- / NS-Transformator?

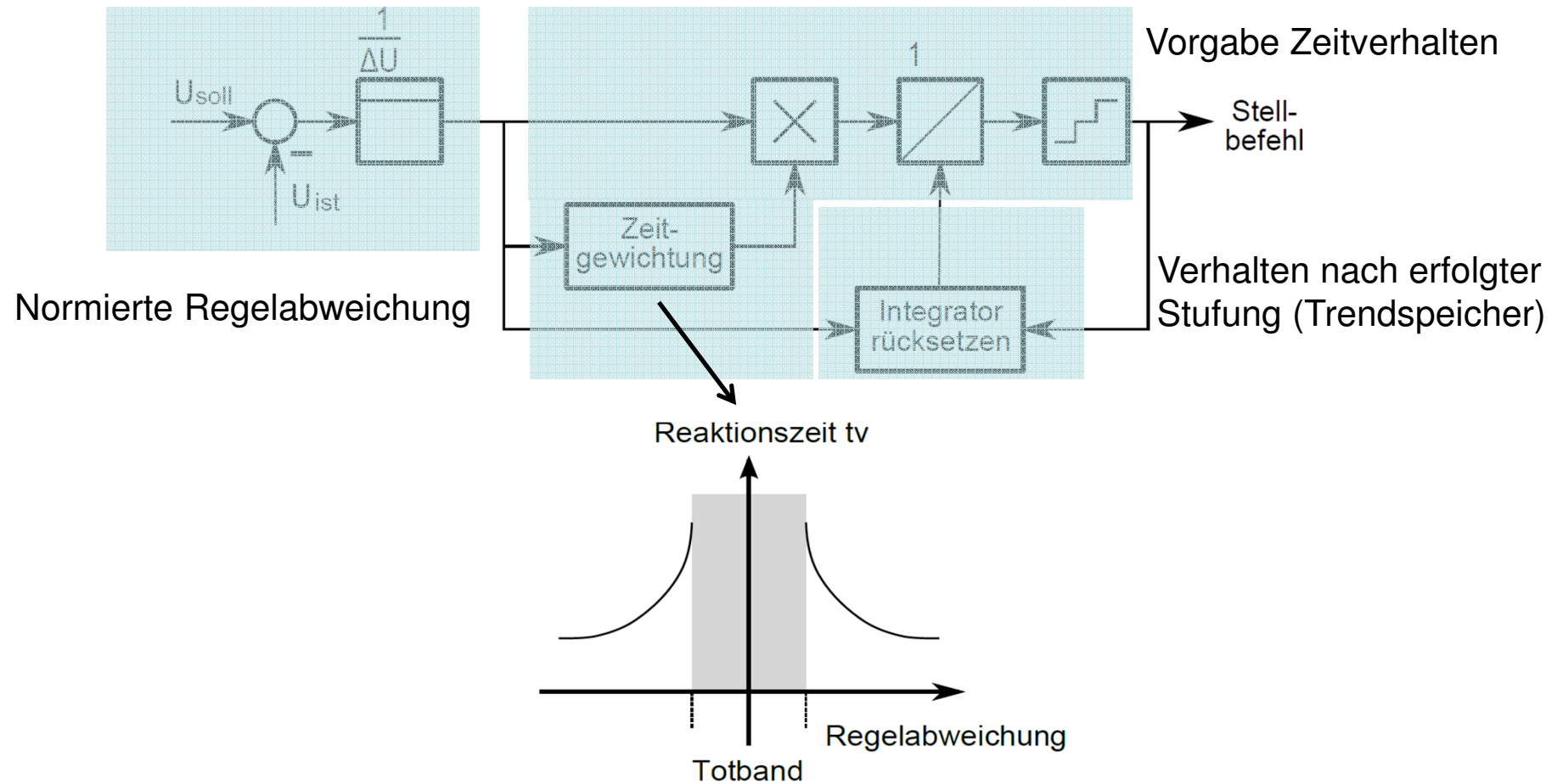
# Last und Erzeugungsstruktur

## Verwendete Last und Erzeugungsprofile

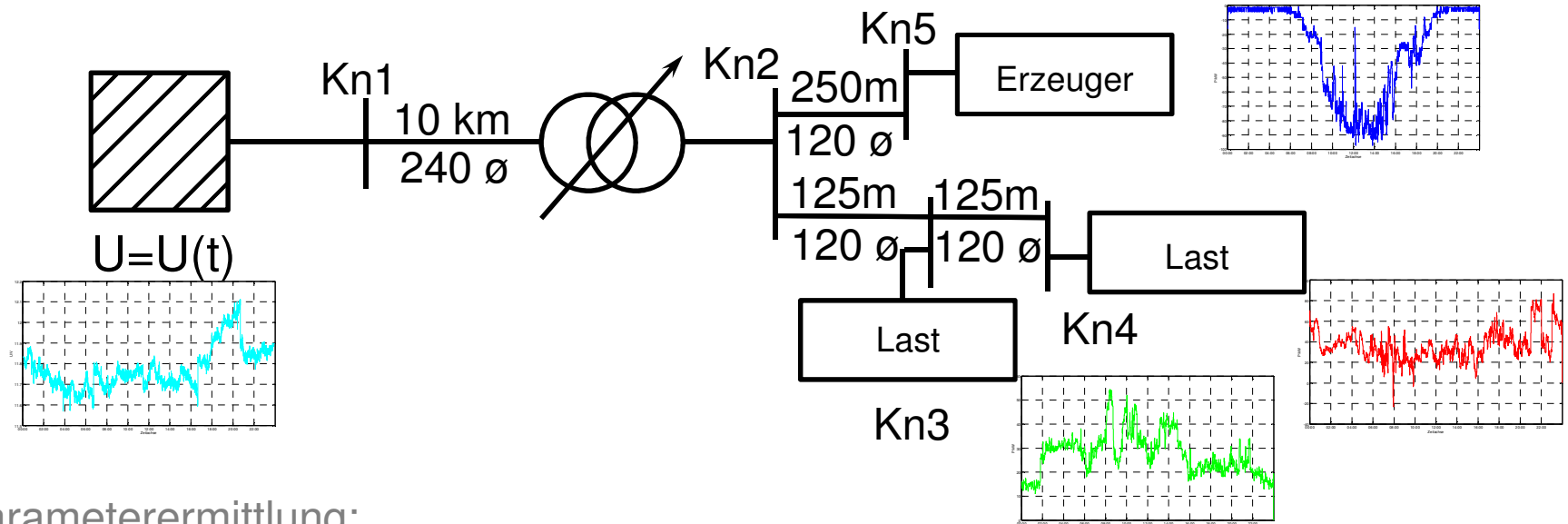
- Summenprofil aus Haushaltsmessungen generiert im Forschungsprojekt „e-home Energieprojekt 2020“ (Industriepartner E.ON Avacon AG)
- Weitere Messreihen aus Forschungsprojekt „Effiziente Integrationsmöglichkeiten von dezentralen Erzeugungsanlagen“ (Industriepartner E.ON Avacon AG)
  - Lastprofil
  - Erzeugungsprofil
  - Spannungsprofil
- Verwendung individueller Testprofile



# Implementierte Reglerstruktur

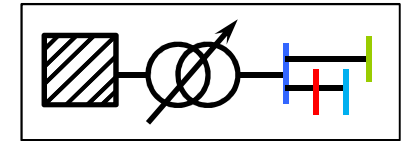


# Netzstruktur 1 - Potenzial der Spannungsregelung

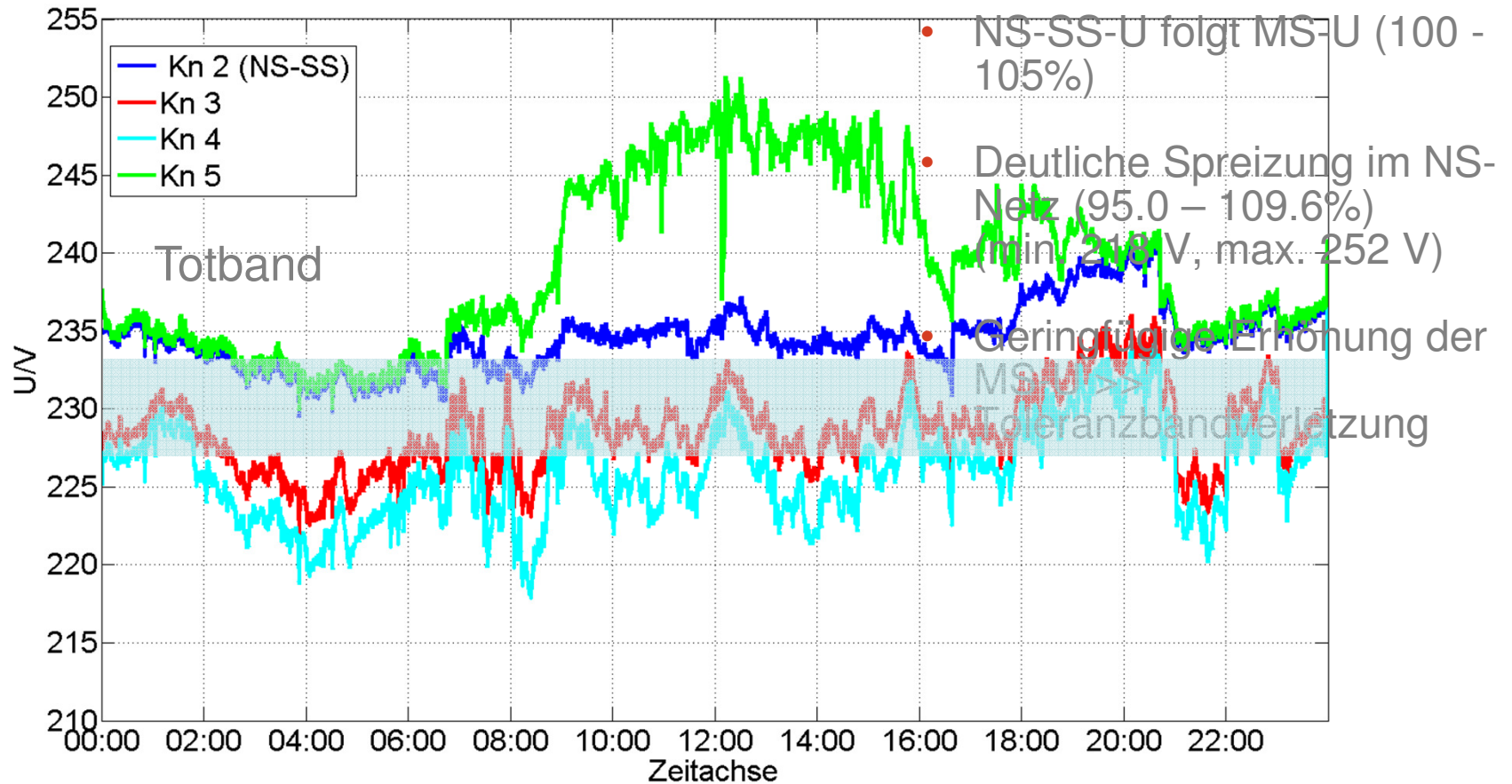


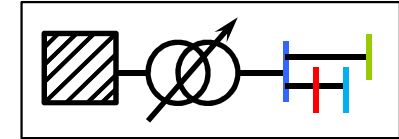
## Parameterermittlung:

- Netzdaten:
  - durchschnittliche Längen anhand realer Netzdaten ermittelt
- Transformatordaten:
  - Standard Transformatoren: 400 kVA (MS/NS); 20MVA (HS/MS)
  - Stufenbreite: 2,5% (Anforderung: geringe Stufenzahl, Patent Reinhausen)
  - Stufenzahl:  $\pm 4$  Stufen (Anforderung: Ausregeln von  $\pm 10\%$ )

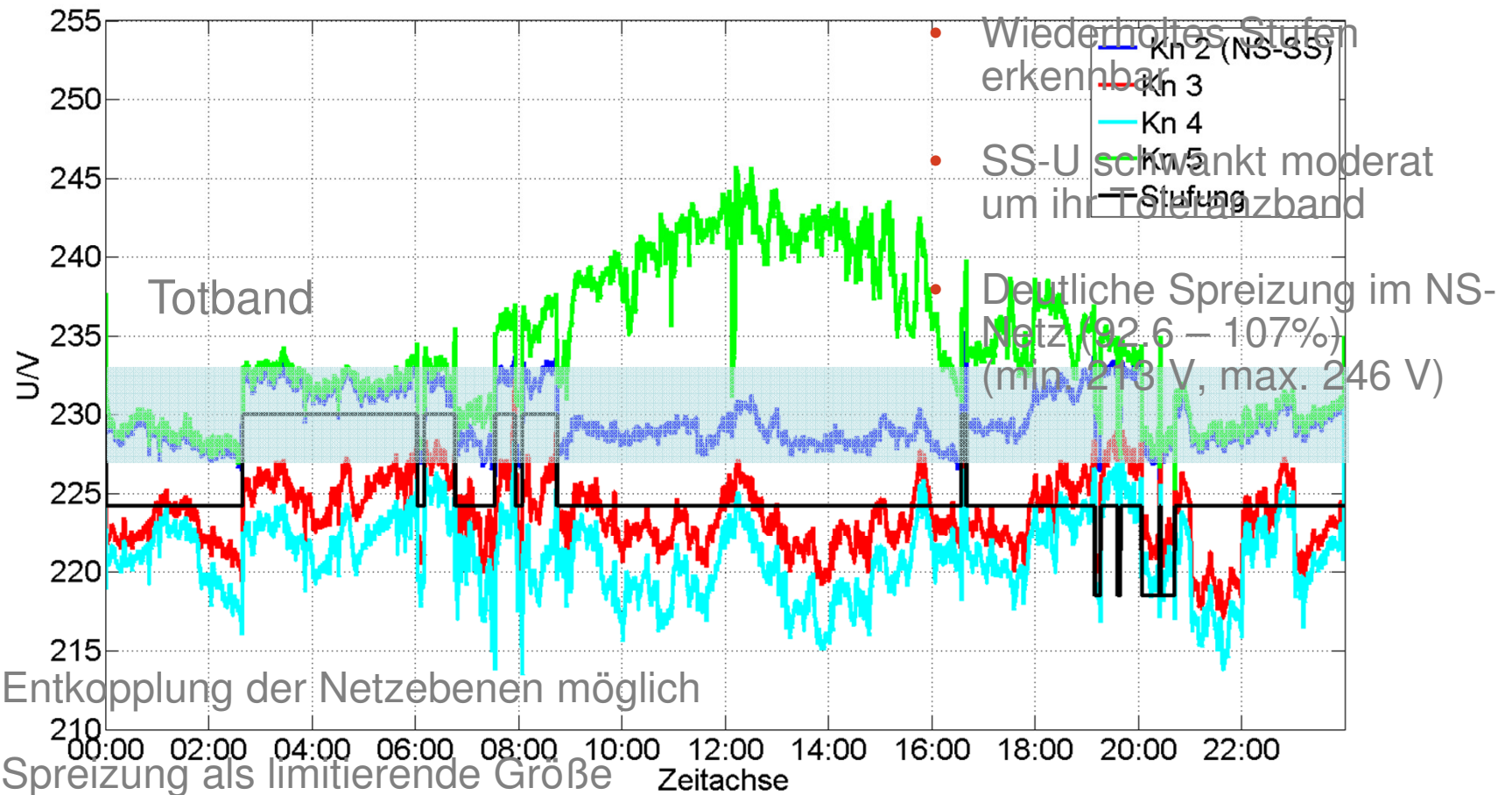


## Spannungsverläufe ohne Regeltransformator



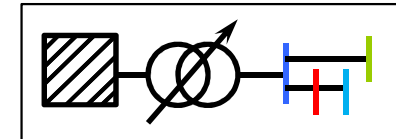


## Spannungsverläufe mit Regeltransformator

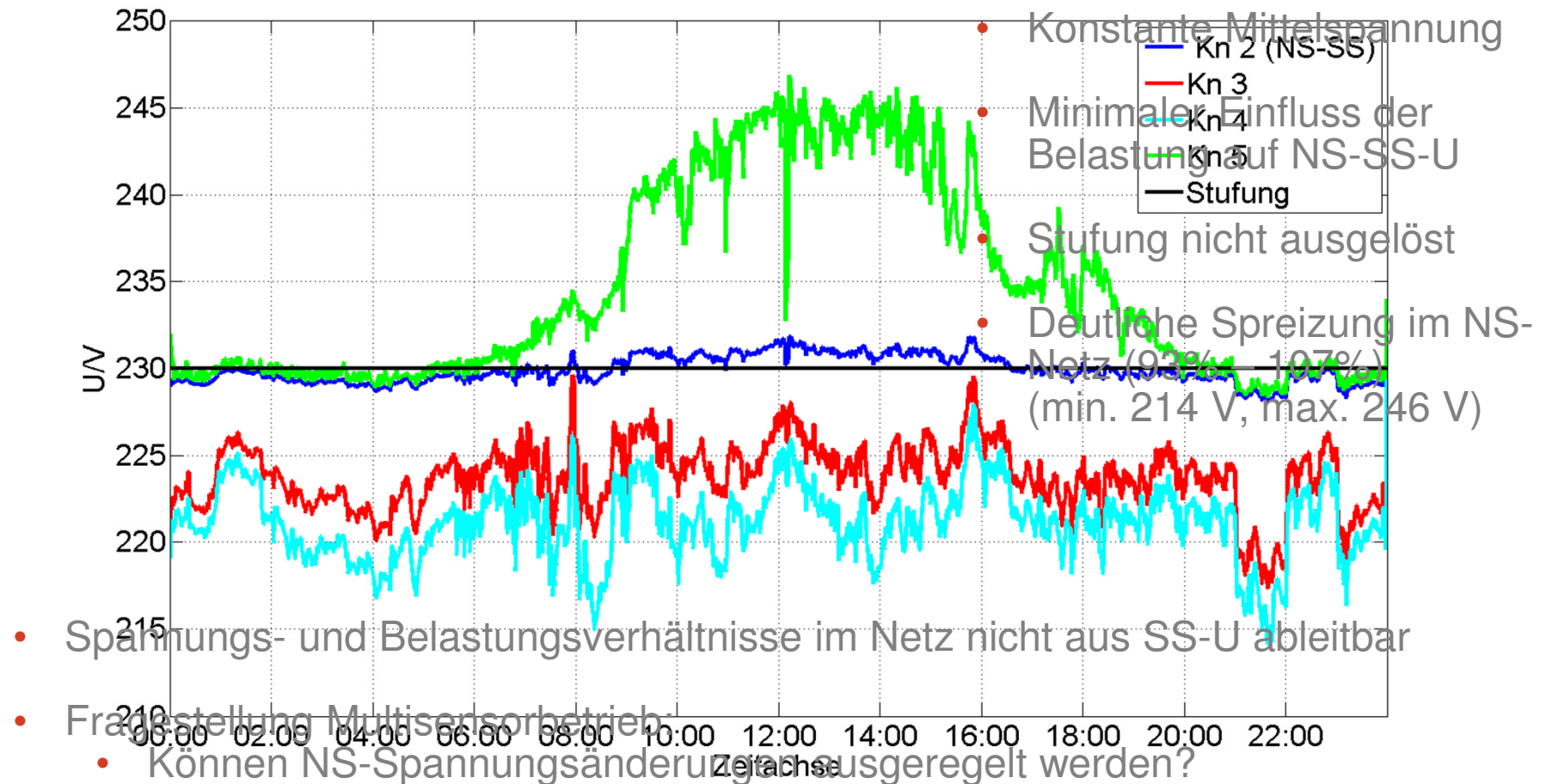


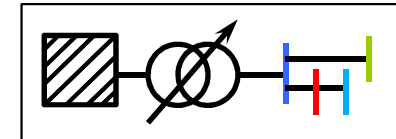
- Entkopplung der Netzebenen möglich
- Spreizung als limitierende Größe



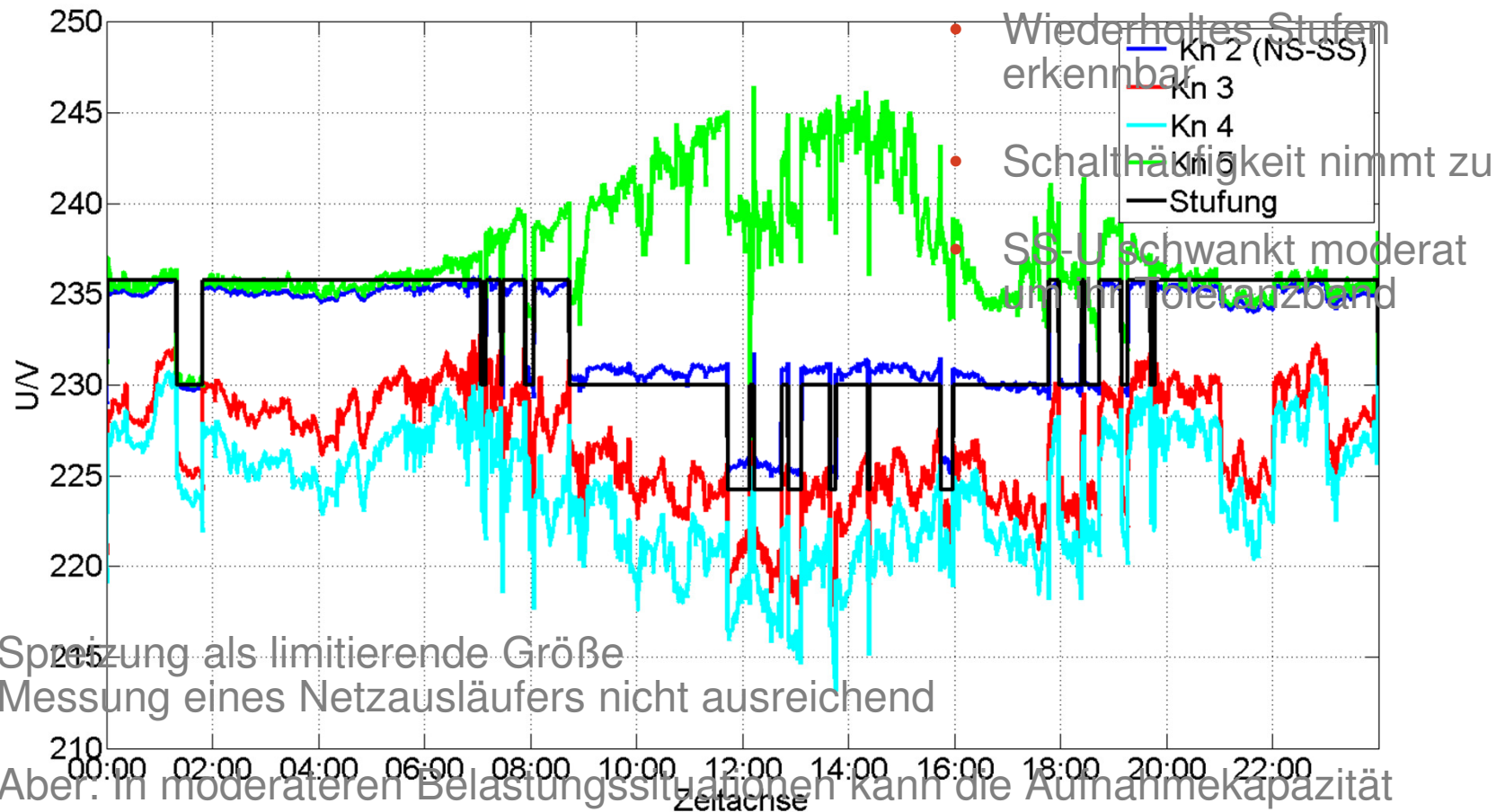


## Spannungsverläufe ohne Regeltransformator



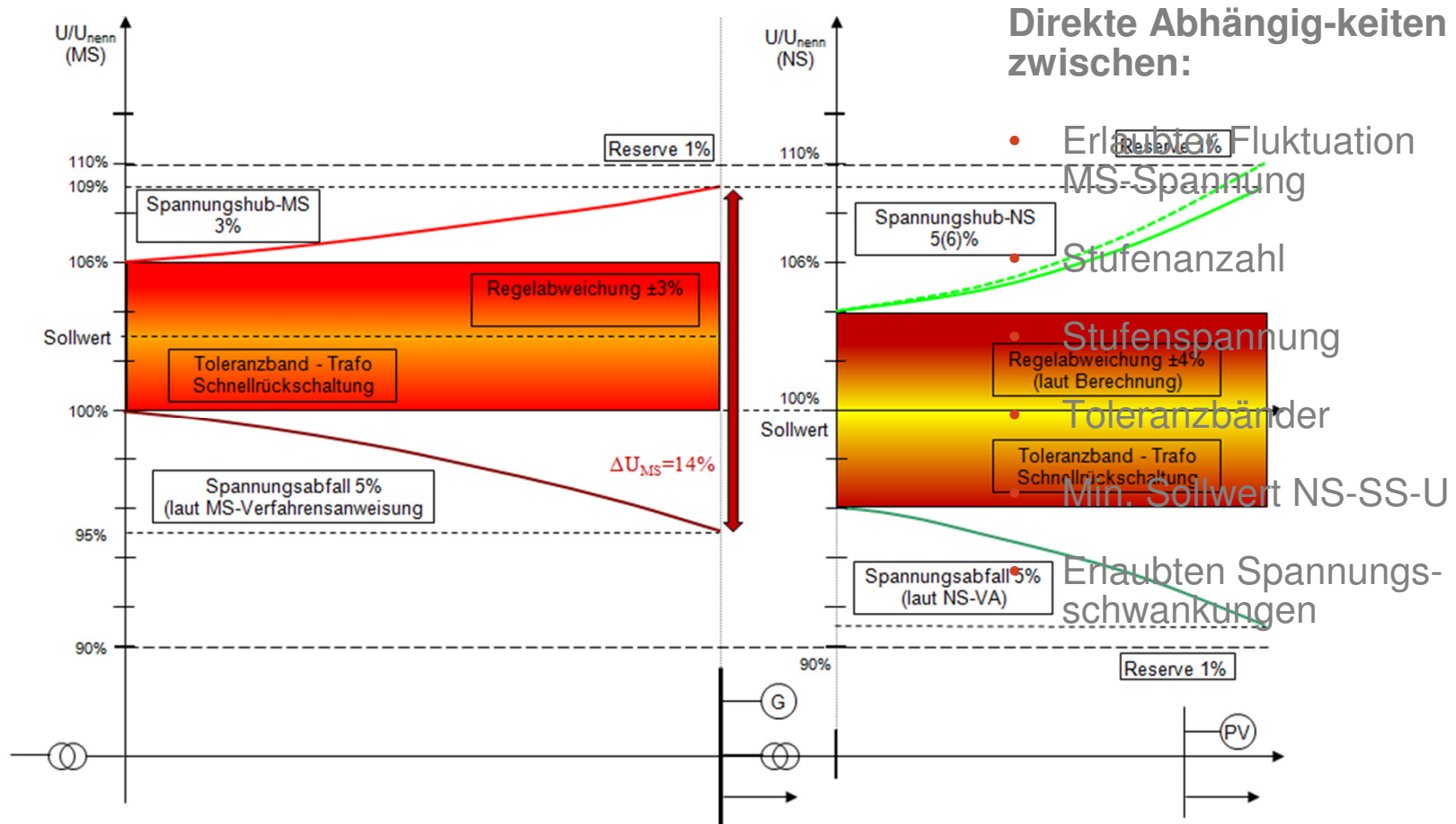


## Spannungsverläufe mit Regeltransformator



- Spannung als limitierende Größe (Voltage as a limiting factor)
- Messung eines Netzausläufers nicht ausreichend (Measurement of a network outlet is insufficient)
- Aber: In moderateren Belastungssituationen kann die Aufnahmekapazität erhöht werden (But: In moderate load situations, the capacity can be increased)

# Variation Stufenspannung und Stufenanzahl



# Variation Stufenspannung und Stufenanzahl

Stufenanzahl	DeltaU-MS in %	Stufenspannung in %	Toleranzband in %	Max. Regelabweichung in %	Min. Sollwert in %	Max. Spannungshub in %
5	14	3.5	2.1	4.2	0.2	5.6

- Erhöhung der Stufenanzahl erlaubt deutlich geringere Stufenspannungen
- Verkleinerung Stufenspannung erlaubt deutliche Vergrößerung des erlaubten Spannungshubes in der NS-Ebene

# Fazit (1/2)

---

- SS-Spannung als direkte Regelgröße:
  - robust
  - Entkopplung von MS- und NS-Netzebene möglich
  - Aufweitung der erlaubten Spannungsbändern möglich
  - Erforderliche Messinfrastruktur gering
  - Einfache Inbetriebnahme
  - Klassische Netzplanung ist weiterhin anzuwenden (Spreizung)
- Verteilte Messung als Eingangsgröße des Reglers:
  - Erkennung möglicher Spreizungen im Netz
  - Vermutung: Geringerer Netzausbau notwendig, aber...
    - Größerer Aufwand für Messtechnik
    - Aufwendige Parametrierung / Inbetriebnahme

## Fazit (2/2)

---

- Direkte Abhängigkeit zwischen Stufenspannung und (MS-Fluktuationen / Stufenanzahl)
- Starke Abhängigkeit zwischen Stufenspannung und erlaubtem Spannungshub
- Schwingungsanregung (unten den angenommenen Bedingungen):
  - Nicht im Parallelbetrieb zweier rONT
  - Beeinflussung des HS- / MS-Transformators vernachlässigbar

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dipl.-Ing. Andreas Becker  
Energie-Forschungszentrum Niedersachsen  
Projektentwicklung  
Forschungsbereich Energienetze  
Am Stollen 19A  
38640 Goslar  
+49 (5321) 3816-8058 (fon)  
+49 (5321) 3816-8009 (fax)  
mailto: [andreas.becker@efzn.de](mailto:andreas.becker@efzn.de)  
[www.efzn.de](http://www.efzn.de)



**efzn**

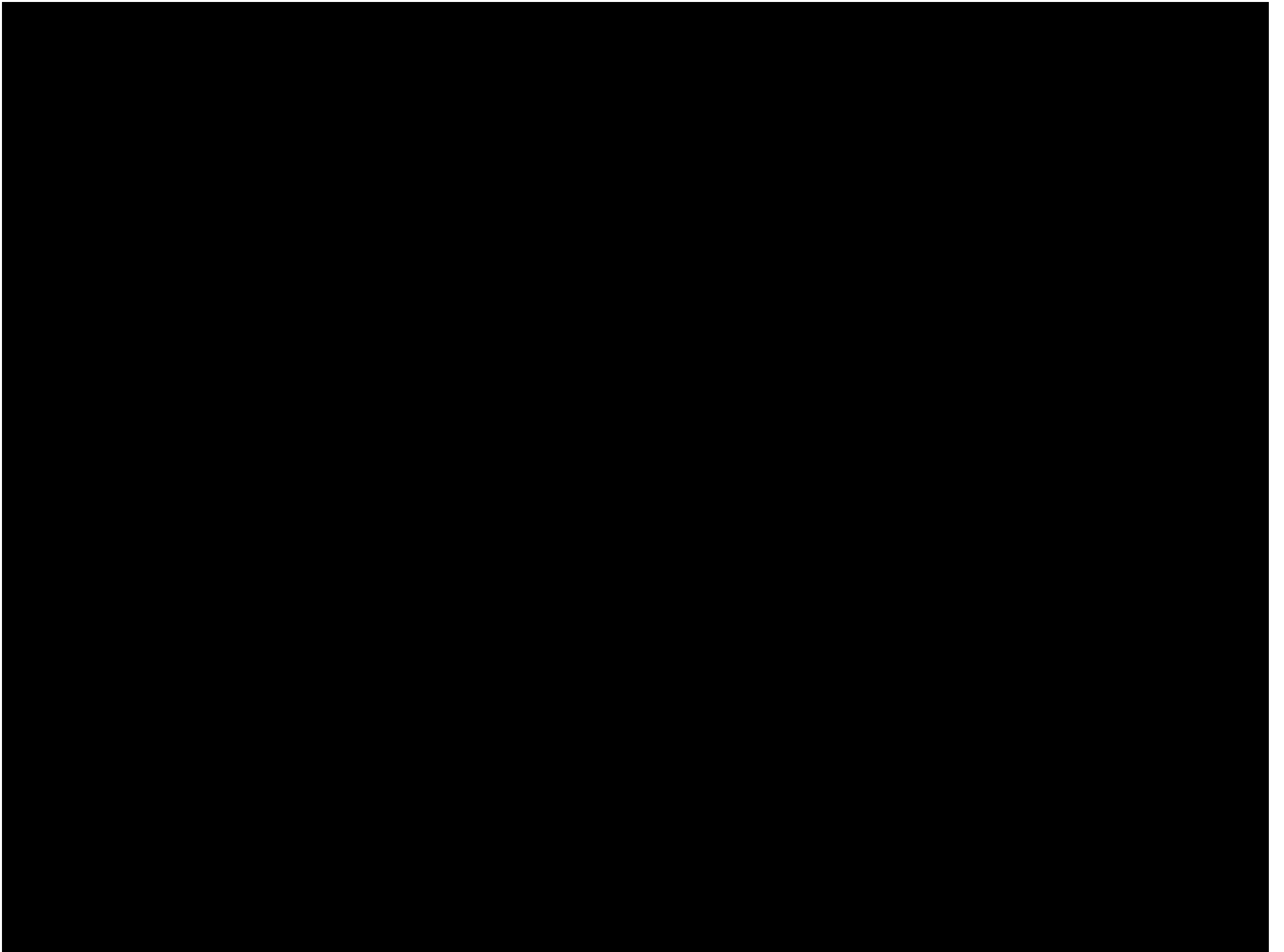
Energie-Forschungszentrum  
Niedersachsen



**e-on** | Avacon

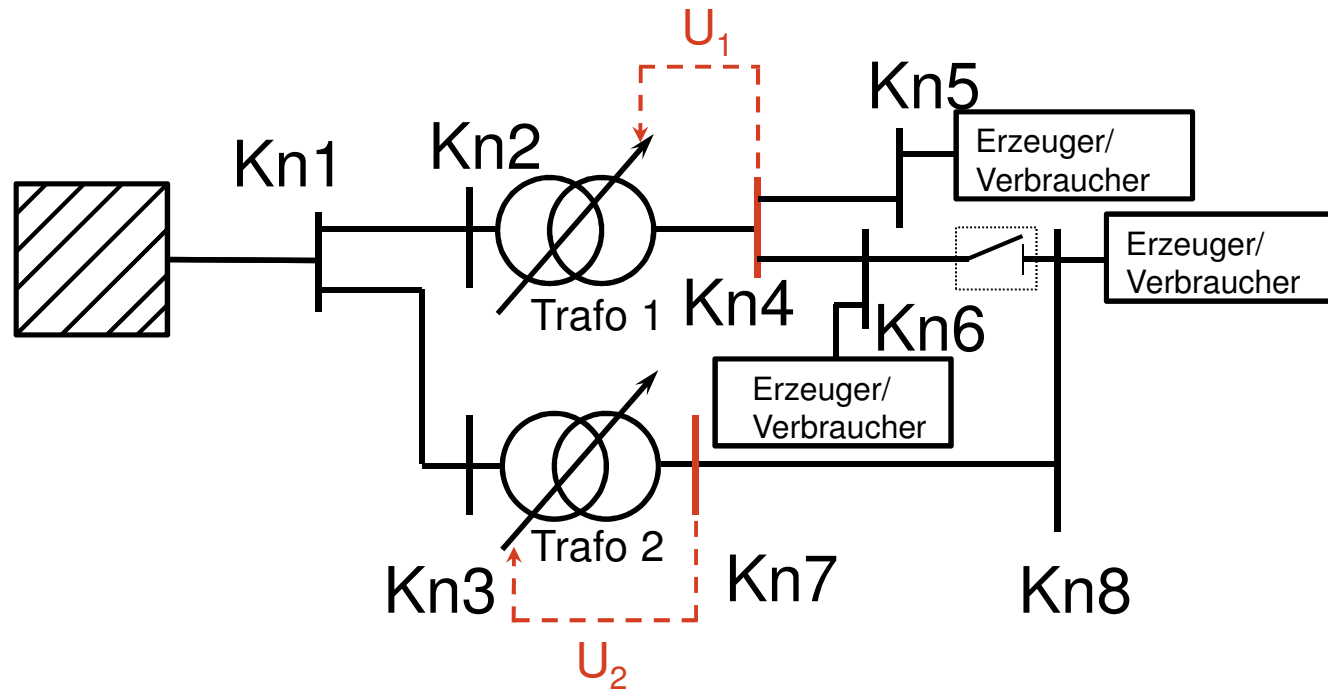
**efzn**

Energie-Forschungszentrum  
Niedersachsen





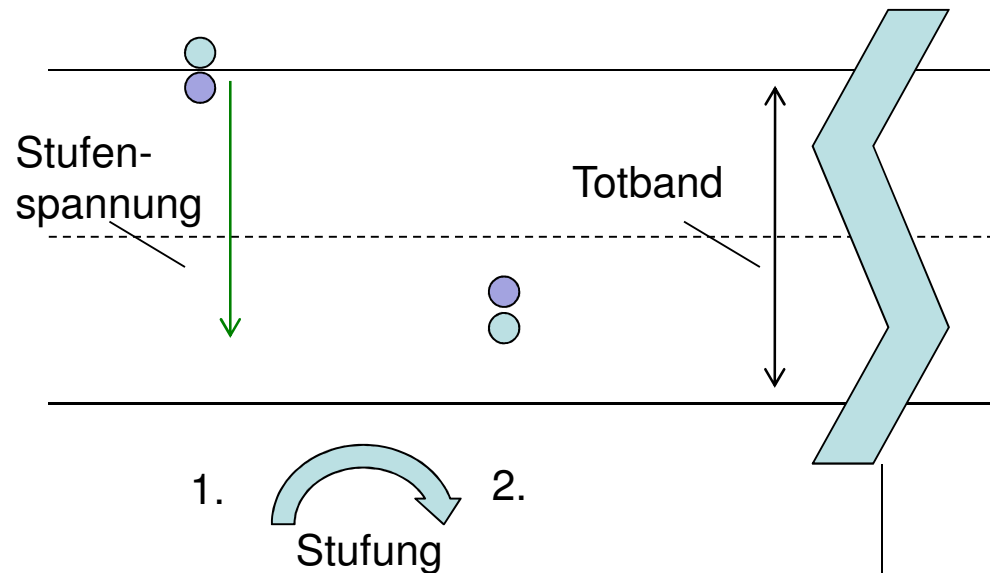
## Netzstruktur 2 – Parallelbetrieb zweier rONT



- Anregung einer Dauerschwingung möglich?
- Vielzahl dynamischer Simulationen durchgeführt
- Keine Schwingungsanregung feststellbar, daher:

➤ prinzipielle Überlegungen

# Parallelbetrieb zweier rONT



**Frage:** Ist Anregung einer Dauerschwingung möglich?

- Fall A: Starre Netzkopplung
  - Spannungen ungefähr gleich groß
  - Stufenspannung  $\approx$  Auswirkung
- Fall B: Weiche Netzkopplung
  - Spannungen können auseinander liegen
  - Stufenspannung  $>$  Auswirkung

# Last und Erzeugungsstrukturen

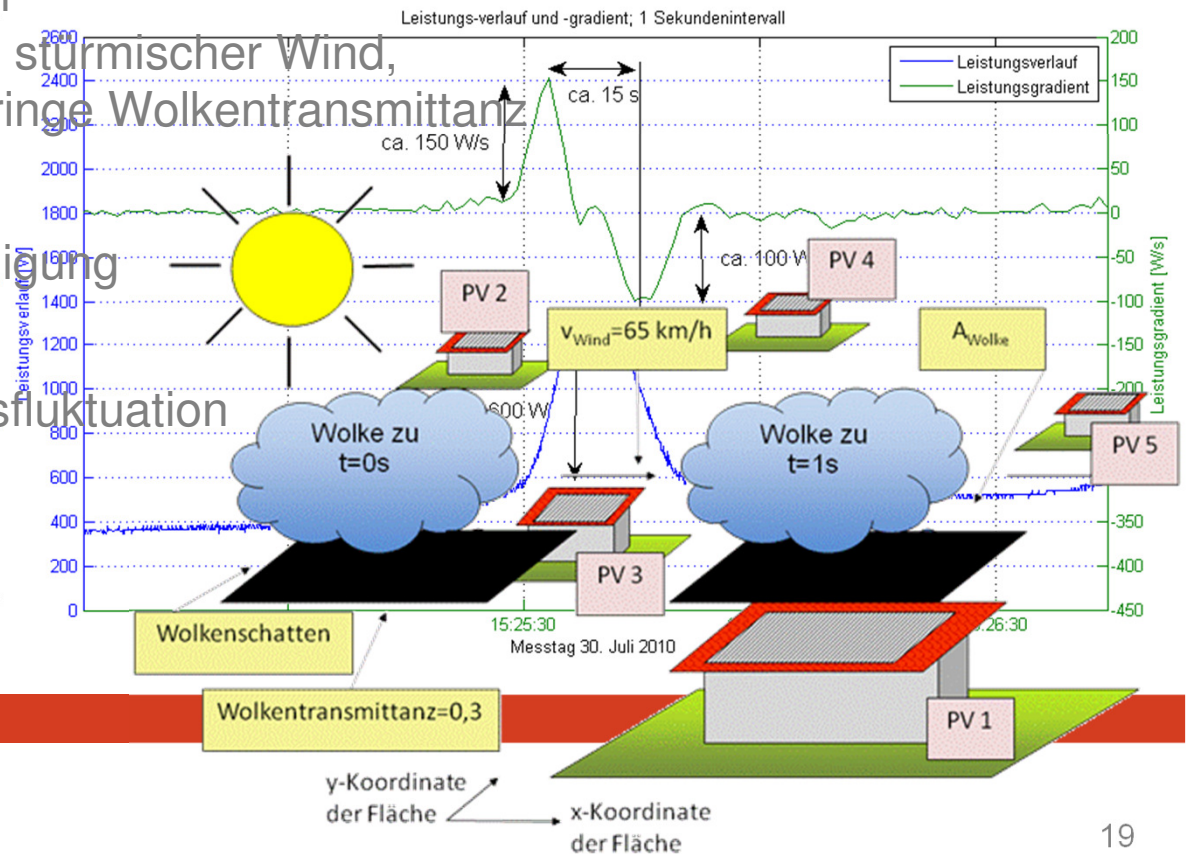
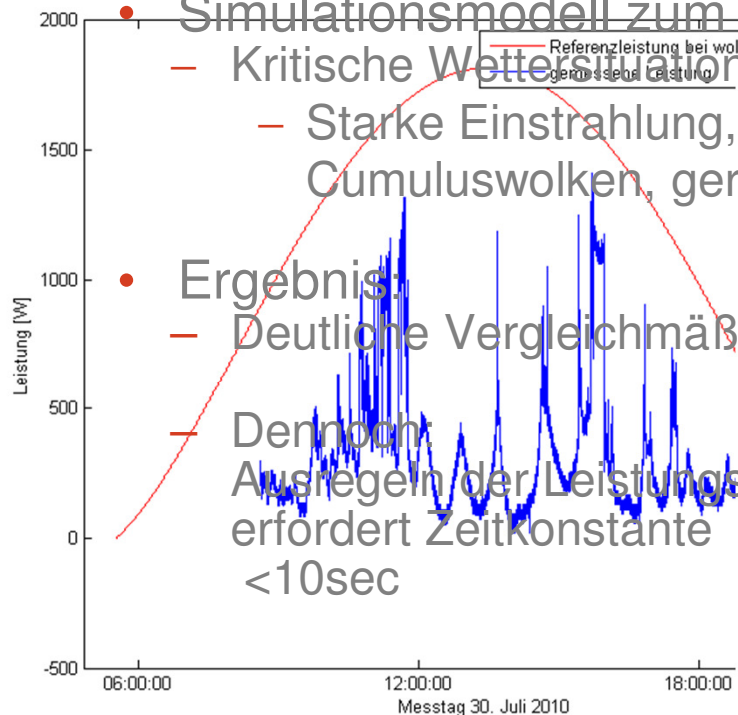
- Analyse Erzeugungsverhalten:
- Messung PV-Anlage mit 0,1 sec – Mittelwerten
  - Maximale Leistungsgradienten von 14,8%

## • Simulationsmodell zum Verhalten eines Anlagenverbundes

- Kritische Wittersituation
  - Starke Einstrahlung, stürmischer Wind, Cumuluswolken, geringe Wolkenmittanz

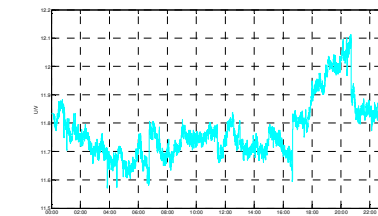
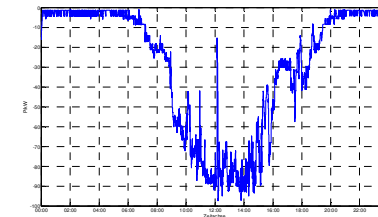
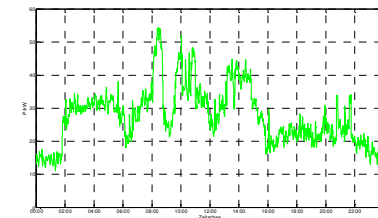
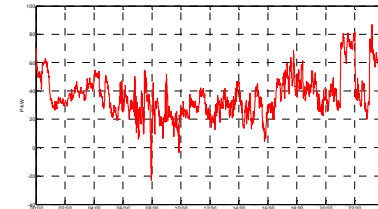
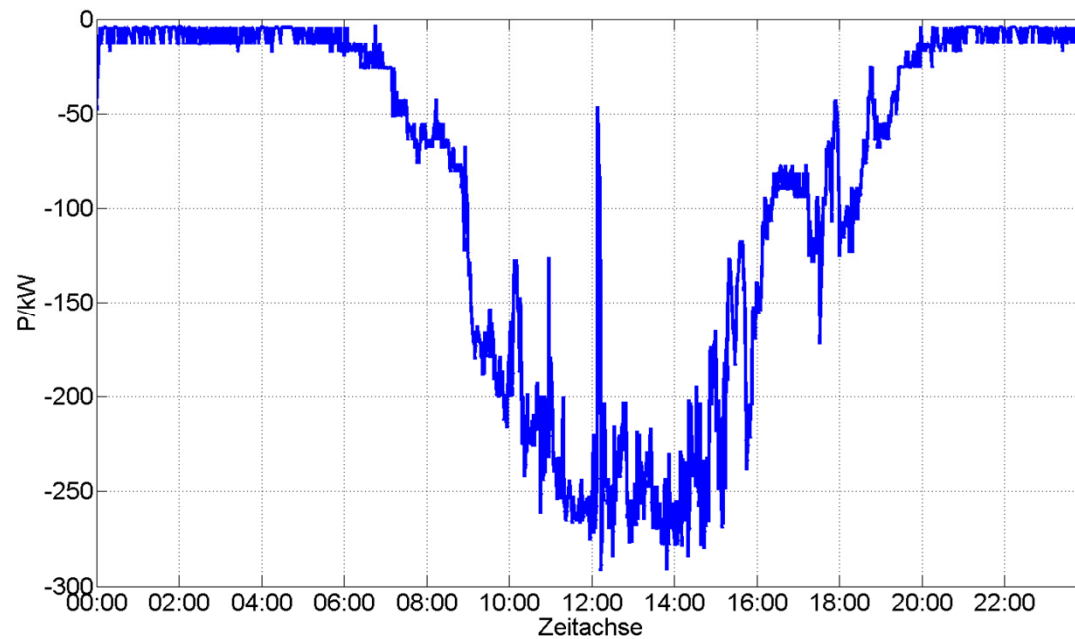
## • Ergebnis:

- Deutliche Vergleichmäßigung
- Dennoch Ausregeln der Leistungsfluktuation erfordert Zeitkonstante < 10sec



# Last und Erzeugungsstruktur

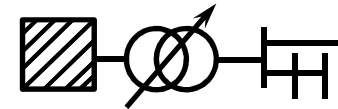
## Verwendetes Erzeugungsprofil



# MS- und NS-Netzstrukturen

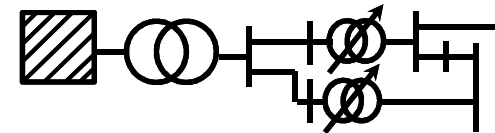
- **Netz 1:**

- Auswirkung der Wahl der Regelgröße
- Prinzipielle Wirkungsweise



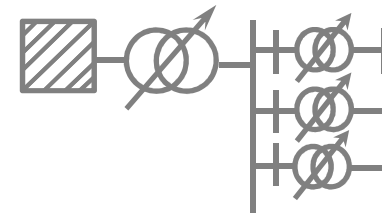
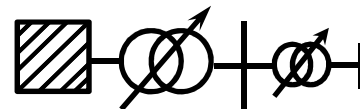
- **Netz 2:**

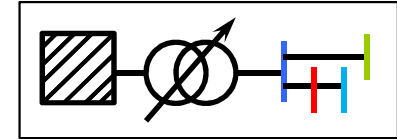
- Wechselwirkung von zwei gemeinsam in ein Ortsnetz speisenden Transformatoren



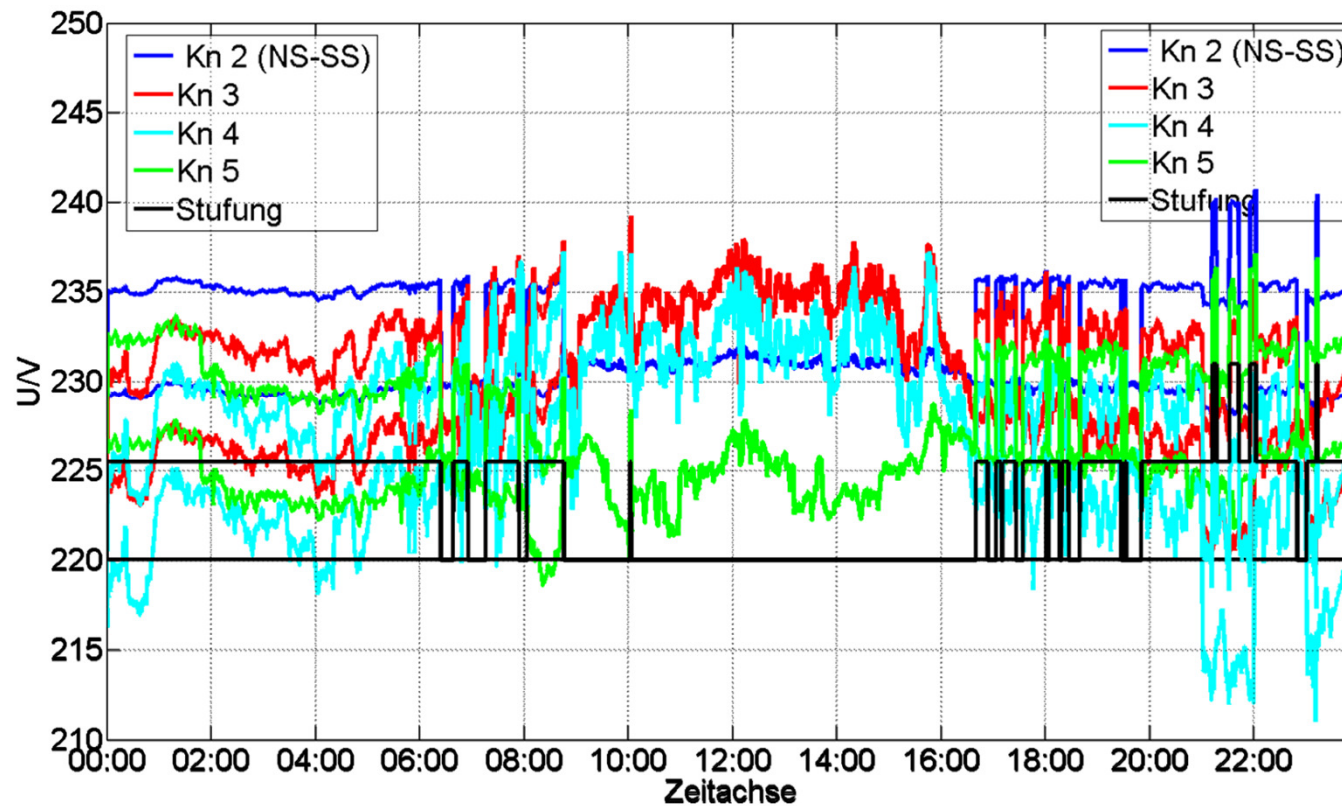
- **Netz 3 (Netz 4):**

- Mögliche Wechselwirkungen der MS/NS-Transformatoren auf den HS/MS-Transformator

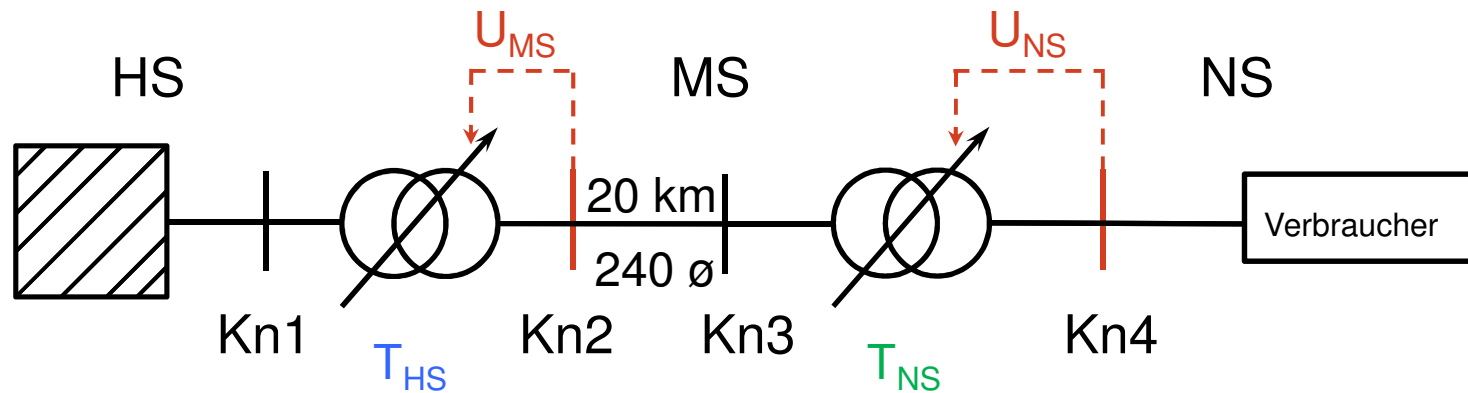




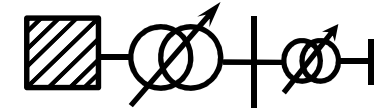
## Spannungsverläufe bei gleichmäßiger Belastung Mit regelbarem Ortsnetztransformator



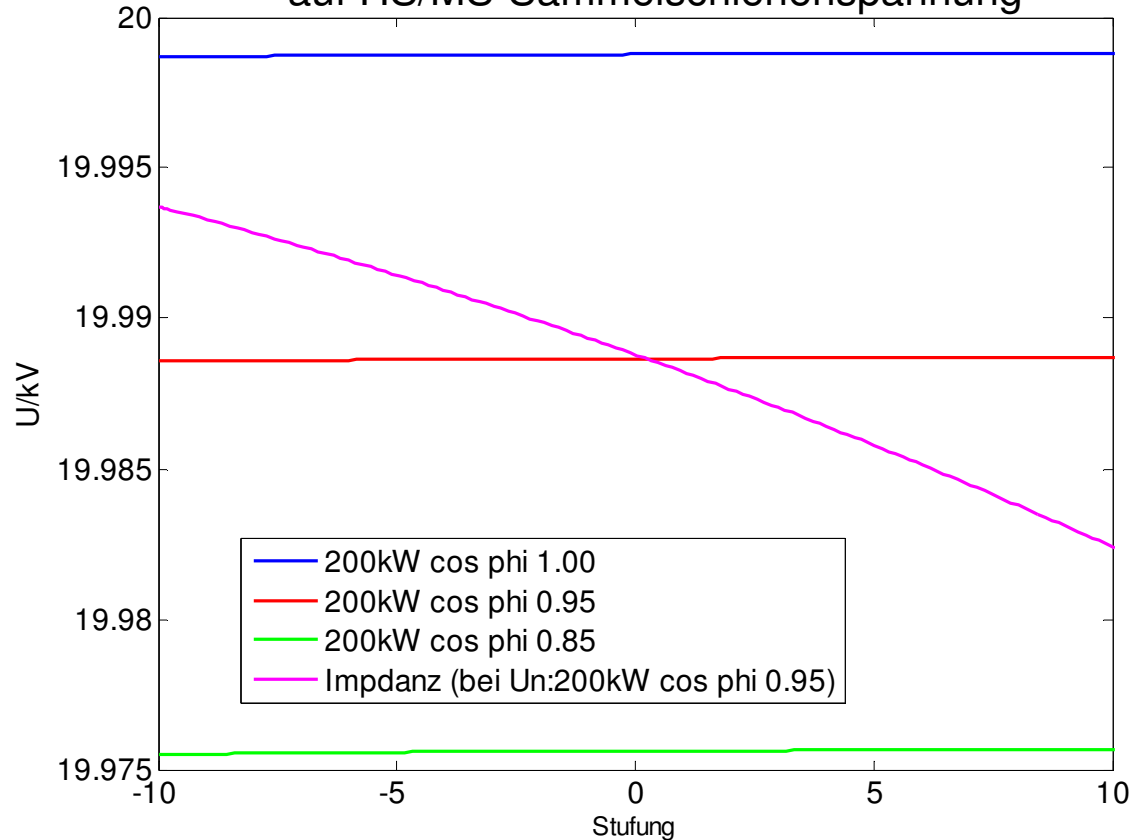
# Zeitreihensimulationen – Netz 3



- **Behandelte Fragestellung:**
  - Zusammenspiel HS/MS- und MS/NS-Transformator?



## Rückwirkung eines NS-Transformators auf HS/MS-Sammelschienenspannung



- Anschluss verschiedener NS-Lasten und Variation der Stufenstellung
- Betrachtung der Sammelschienenspannung des HS/MS-Transf.
- Die stärkste Auswirkung zeigt die Impedanzlast (Spannungsabhängigkeit)

➔ Rückwirkung eines MS/NS-Transf. auf HS/MS-Transf. vernachlässigbar