

## ❑ FH Dortmund: 13.500 Studierende in 7 Fachbereichen

### ❑ Fachbereich

#### **Informations- und Elektrotechnik**

(ca. 1900 Studierende, 9 Studiengänge)

### ❑ Neplan-Praktikum als Netzplanungswerkzeug

#### ➤ **BA Elektrotechnik, BA Energiewirtschaft**

(1050 Studierende)

➤ **Lastfluss, Kurzschluss, Zuverlässigkeit**

#### ➤ **MA Informations- und Elektrotechnik**

(130 Studierende)

#### **Schwerpunkt Energiesystemtechnik**

➤ **Selektivschutz, Barwertanalyse, Transiente Stabilität**



Weitbereichsregelung mit NPL

Prof. Dr.-Ing. G. Harnischmacher 24.02.2015

## Simulation und Wirksamkeitskontrolle einer Weitbereichs-Traforegelung mit Hilfe der Neplan- Programmierschnittstelle

### ❑ Motivation

### ❑ Zielsetzung

### ❑ Realisierung mit der Neplan-Programmierschnittstelle NPL

### ❑ Anwendungsbeispiel Weitbereichsregelung

### ❑ Fazit und Ausblick

Weitbereichsregelung mit NPL

Prof. Dr.-Ing. G. Harnischmacher 24.02.2015

# Motivation: Fragestellungen zur Netzoptimierung mittels Trafostufung

Motivation

Entwicklungsziel

Realisierung mit der Schnittstelle NPL

Anwendung  
Trafo-Regelung

Fazit und Ausblick

- ❑ **Vermeidung Netzausbau bei dezentraler Einspeisung**
- ❑ **Lösungsmöglichkeit über regelbaren Ortsnetztrafo („rONT“)**
- ❑ **Extremsituationen einschätzbar**
  - Starklast und geringe bis keine dezentrale Einspeisung
  - Schwachlast und hohe dezentrale Einspeisung
  - Starklast und hohe dezentrale Einspeisung
- ❑ **Sollwertvorgabe für die Trafo-Unterspannung (US) der Einspeisung allein nicht mehr ausreichend**
- **„Weitbereichsregelung“**

# Motivation: Anlass

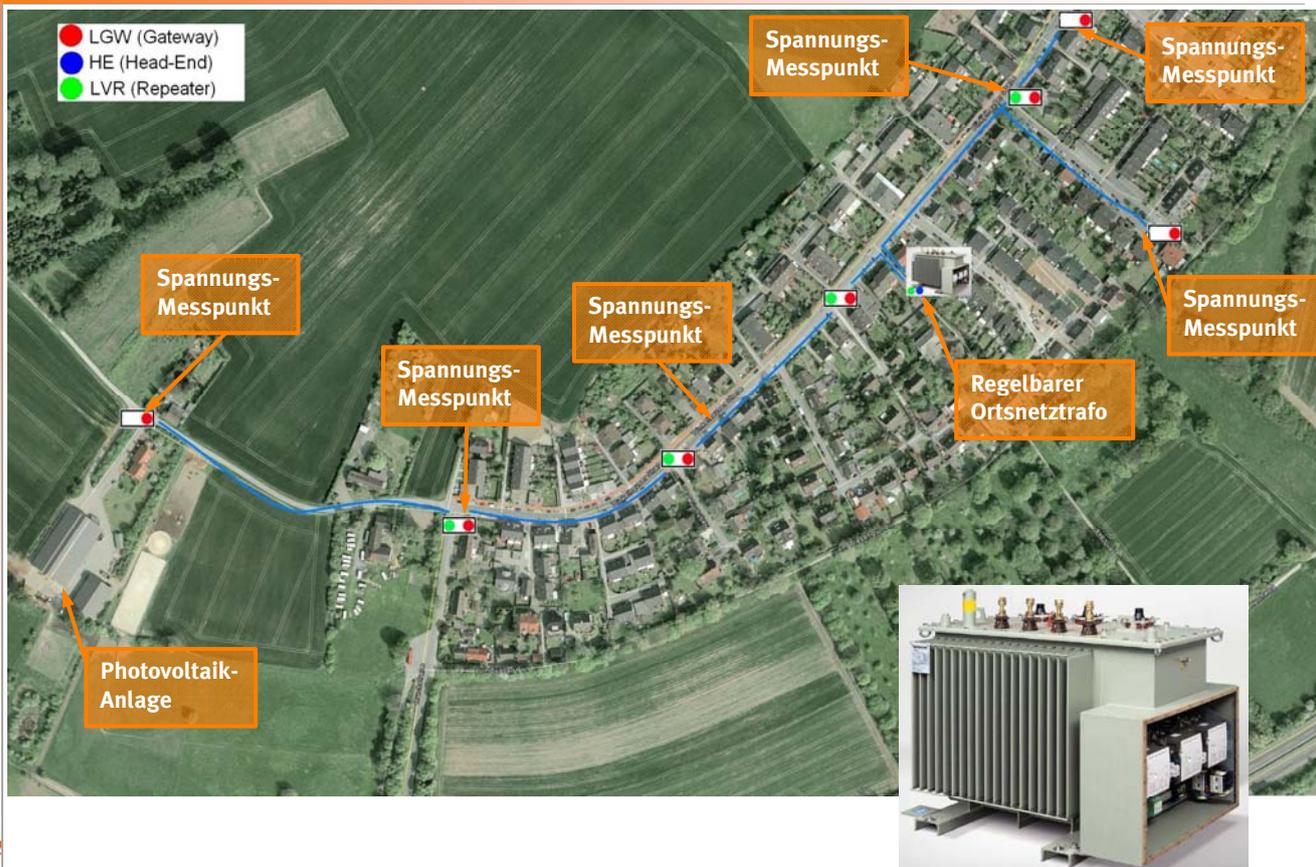
Motivation

Entwicklungsziel

Realisierung mit der Schnittstelle NPL

Anwendung  
Trafo-Regelung

Fazit und Ausblick



# Motivation: Weitbereichsregelung mit mehreren Referenzspannungen

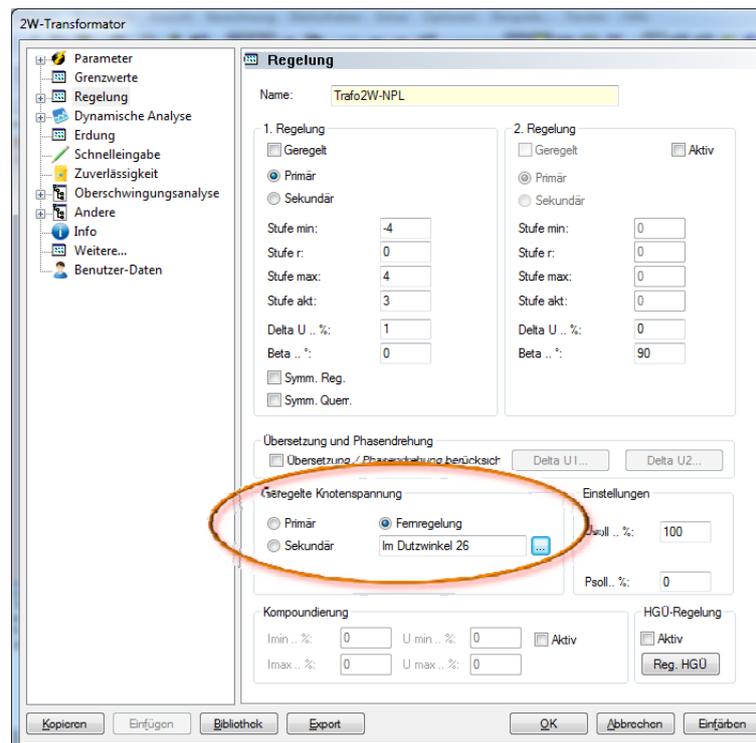
Motivation  
Entwicklungsziel  
Realisierung mit der Schnittstelle NPL  
Anwendung  
Trafo-Regelung  
Fazit und Ausblick

- ❑ **Offen:**
  - Welche und wieviele, verteilte Messpunkte für die Regelung**
    - (Alle) Knoten mit größter Spannungsabsenkung?
    - (Alle) Knoten mit größter Spannungsanhebung?
    - (Alle) Dezentrale Einspeiserknoten?
    - Genügt doch die Trafo-US oder wirkt sie sogar kontraproduktiv?
- ❑ **In Pilotprojekten: Vielzahl von Messpunkten, kostenintensive Installation und Kommunikationstechnik**
- ❑ **Idee: Vorab-Simulation des Regelungspotentials**
  - Abschätzung der Extremsituationen („worst case“)
  - Aussage, ob Netzsituationen mit rONT beherrschbar sind oder nicht
  - Ermittlung optimaler Messpunkte, Sollwerte, Spezifikation der Stufung
- ❑ **Randbedingungen:**
  - Einfache, automatische Simulation ohne Datenmodelländerung
  - Leichte Anwendbarkeit für je einen Regeltrafo

# Simulationmöglichkeiten in NEPLAN

Motivation  
Entwicklungsziel  
Realisierung mit der Schnittstelle NPL  
Anwendung  
Trafo-Regelung  
Fazit und Ausblick

- ❑ **Standard-Trafoegler in Neplan**
  - Lokale Sollspannung für OS, US
  - Fernregelung für einen Referenzknoten
  - Regelung mit mehreren Knoten nicht darstellbar
- ❑ **Realisierung über eine externe Software, die in Neplan eingebunden wird**



# Zielsetzung

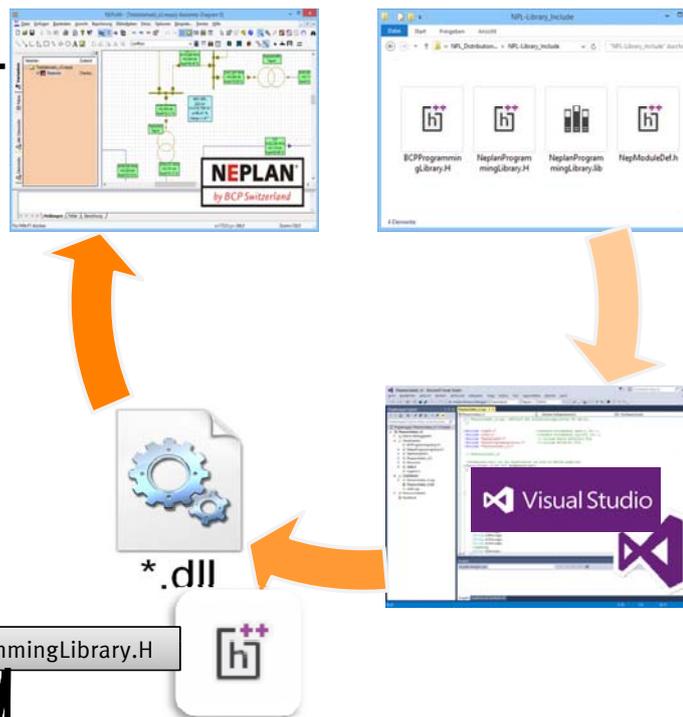
Motivation  
 Entwicklungsziel  
 Realisierung mit der Schnittstelle NPL  
 Anwendung  
 Trafo-Regelung  
 Fazit und Ausblick

- ❑ Realisierung einer automatischen Stufenstellungsoptimierung
- ❑ Beachtung von Spannungsbandbegrenzungen für alle Knoten
- ❑ Realitätsnahe Nachbildung einer Weitbereichsregelung
  - Stufenstellung wird für ausgewählte Referenzknoten über eine gemeinsame Zielfunktion optimiert
  - Vorgabe einer gemeinsamen sowie zusätzlicher individueller Sollspannungen
  - Keine vollständige Netzoptimierung
  - Anwendbarkeit für alle Spannungsebenen
- ❑ Kein Änderungsbedarf vorhandener Netzdatensätze
- ❑ Optionale Übernahme der optimalen Stufenstellung
- ❑ Transparente Protokollierung der Optimierungsläufe im Neplan-Meldungsfenster

# Umsetzung mit Hilfe der „Neplan Programming Library“ NPL

Motivation  
 Entwicklungsziel  
 Realisierung mit der Schnittstelle NPL  
 Anwendung  
 Trafo-Regelung  
 Fazit und Ausblick

- ❑ **Programmbibliothek in C/C++**
  - Funktionsaufrufe zur Auswertung von Netzmodellen
  - Verwendung der Neplan-Funktionen
  - Auslesen von Parametern und Rechenergebnissen
  - Schreiben von Parametern



## Beispiel:

```

NeplanProgrammingLibrary.H
OpenNeplanProject(TCHAR* sFileName);
RunAnalysis(BCP_SELECTED_MODULE_LF);
GetParameterInt(unsigned long lID, TCHAR* wcParameter, int& nValue);
  
```

# NPL-Trafoeregler mit mehreren Referenzknoten

Motivation

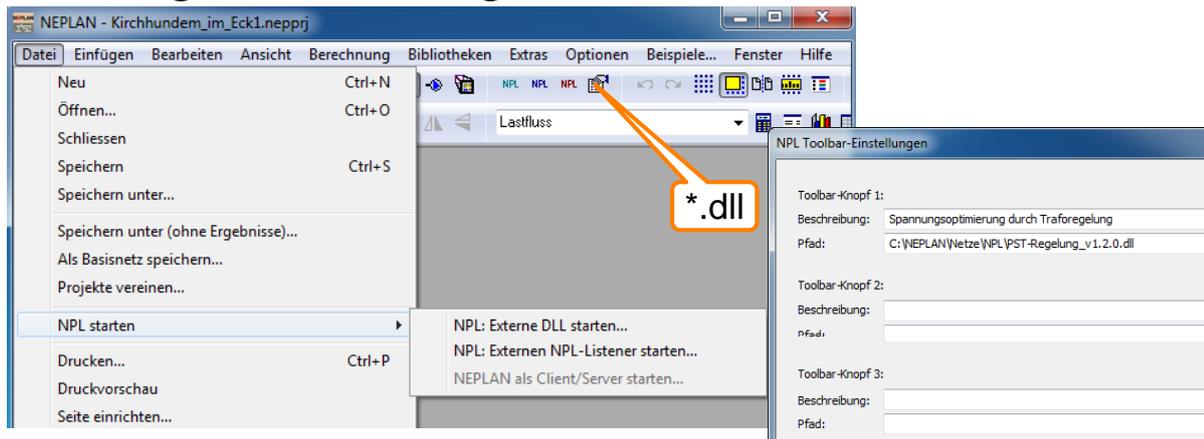
Entwicklungsziel

Realisierung mit der Schnittstelle NPL

Anwendung  
Trafo-Regelung

Fazit und Ausblick

## Aktivierung oder Zuordnung der .dll



## Zuordnung Regeltrafo über Namenskennung

(Auf einen 'Trafo2W-NPL' pro .dll beschränkt)

## Zuordnung der Referenzknoten über Namenskennung

(Prototyp: 'KN1-NPL', 'KN2-NPL')

## Verwendung der Trafospezifikation im Netzdatenmodell

- Alle Varianten (Längs-, Quer-, Schrägregler) verwendbar
- Datenmodell bleibt unverändert

Weitbereichsregelung mit NPL

Prof. Dr.-Ing. G. Harnischmacher 24.02.2015

# Ablauf der Stufenstellungsoptimierung (1)

## Zulässige Stufungen im Rahmen der Spannungsbandgrenzen

Motivation

Entwicklungsziel

Realisierung mit der Schnittstelle NPL

Anwendung  
Trafo-Regelung

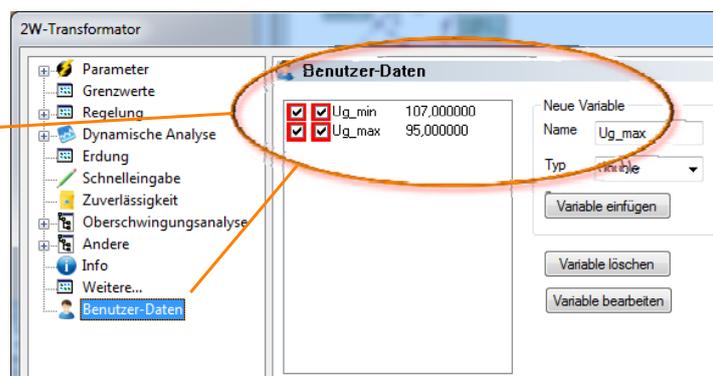
Fazit und Ausblick

## Normative Spannungsbandgrenzen für alle Netzknoten (Default)

## Optional angepasste Spannungsbandgrenzen für den geregelten Netzbereich

- Benutzerdefinierte Variablen des Regeltrafos

## Gültige Spannungsgrenzen im Meldungsfenster:



Spannungsbänder : (Default)	Un=0,4kV --> Ug_min= 0.360kV	Ug_max= 0.440kV	— ± 10% = 360...440 V
	Un=6kV --> Ug_min= 5.40kV	Ug_max= 6.60kV	
	Un=30kV --> Ug_min= 27.0kV	Ug_max= 33.0kV	
	Un=110kV --> Ug_min= 105kV	Ug_max= 121kV	
	Un=220kV --> Ug_min= 210kV	Ug_max= 245kV	
	Un=380kV --> Ug_min= 380kV	Ug_max= 420kV	
(Angepasst) Ug_min = 107.0% Ug_max = 95.0%	Un=0,4kV --> Ug_min= 0.385kV	Ug_max= 0.418kV	— 107% · 360 V...95% · 440 V
	Un=6kV --> Ug_min= 5.78kV	Ug_max= 6.27kV	
	Un=30kV --> Ug_min= 28.9kV	Ug_max= 31.3kV	
	Un=110kV --> Ug_min= 112.4kV	Ug_max= 114.9kV	
	Un=220kV --> Ug_min= 224.7kV	Ug_max= 232.8kV	
	Un=380kV --> Ug_min= 406.6kV	Ug_max= 399.0kV	

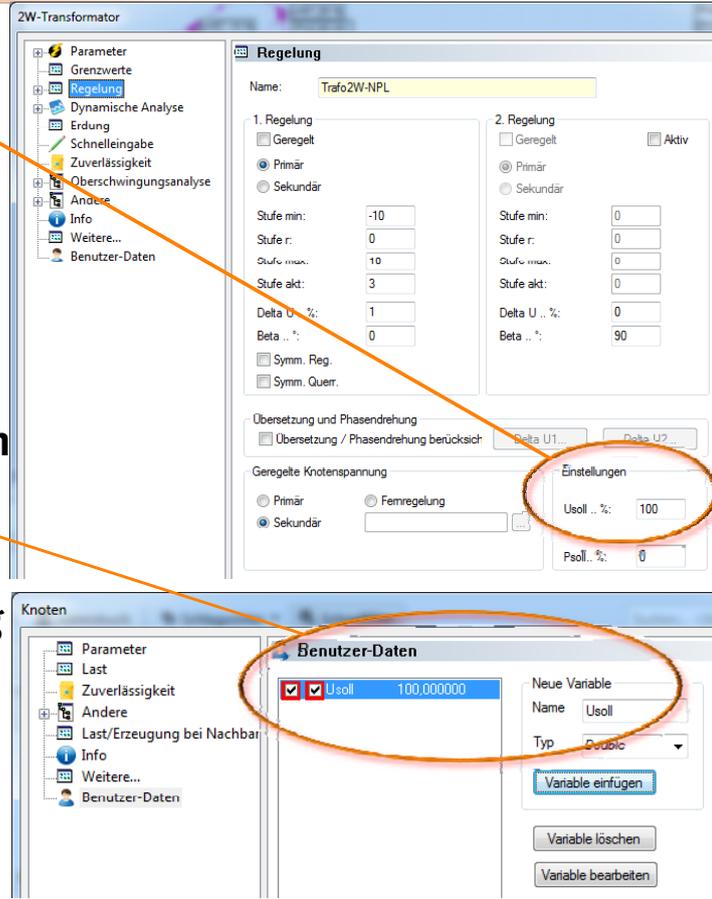
Sollspannung: KN1(0.4kV): Usoll= 0.400kV  
 (100.0%) KN2(0.4kV): Usoll= 0.400kV

# Ablauf der Stufenstellungsoptimierung (2) Stufungsoptimierung für vorgegebene Sollspannungen

Motivation  
Entwicklungsziel  
Realisierung mit der Schnittstelle NPL  
Anwendung  
Trafo-Regelung  
Fazit und Ausblick

- ❑ **Gemeinsame Sollspannung aus Standardregler**
- ❑ **Standardregler wird deaktiviert**
- ❑ **Optional: Individuelle Sollspannungen für Referenzknoten**
- ❑ **Resultierende Sollspannung durch Multiplikation, z.B. Referenzknoten KN1:**

$$U_{Soll1} = U_{n1} \cdot U_{Trafosoll} (\%) \cdot U_{KN1soll} (\%)$$



Weitbereichsregelung mit NPL

Prof. Dr.-Ing. G. Harnischmacher 24.02.2015

# Ablauf der Stufenstellungsoptimierung (3) Zielfunktionswert (ZFW)

Motivation  
Entwicklungsziel  
Realisierung mit der Schnittstelle NPL  
Anwendung  
Trafo-Regelung  
Fazit und Ausblick

- ❑ **Minimierung aller Abweichungsquadrate:**

$$ZFW = \left( \frac{U_{KN1} - U_{Soll1}}{U_{n1}} \right)^2 + \left( \frac{U_{KN2} - U_{Soll2}}{U_{n2}} \right)^2 + \dots$$

Stufe	Node	U_akt (kV)	U_soll (kV)	ZFW
Stufe 1	KN1	0.397	0.300	0.756
	KN2	0.390	0.020	6.544
Stufe 2	KN1	0.393	0.306	3.380
	KN2	0.386	0.020	12.573
Stufe 3	KN1	0.389	0.311	7.776
	KN2	0.382	0.020	20.382
Stufe 4	KN1	0.385	0.317	13.840
	KN2	0.378	0.020	29.867

Stufenstellbereich ohne Spannungsbandverletzung:  
 n = -4 --> OK ZFW: 25.5145  
 n = -3 --> OK ZFW: 12.8209  
 n = -2 --> OK ZFW: 4.9250  
 n = -1 --> OK ZFW: 1.5458  
 n = 0 --> OK ZFW: 2.4199  
 n = 1 --> OK ZFW: 7.2999  
 n = 2 --> OK ZFW: 15.9525

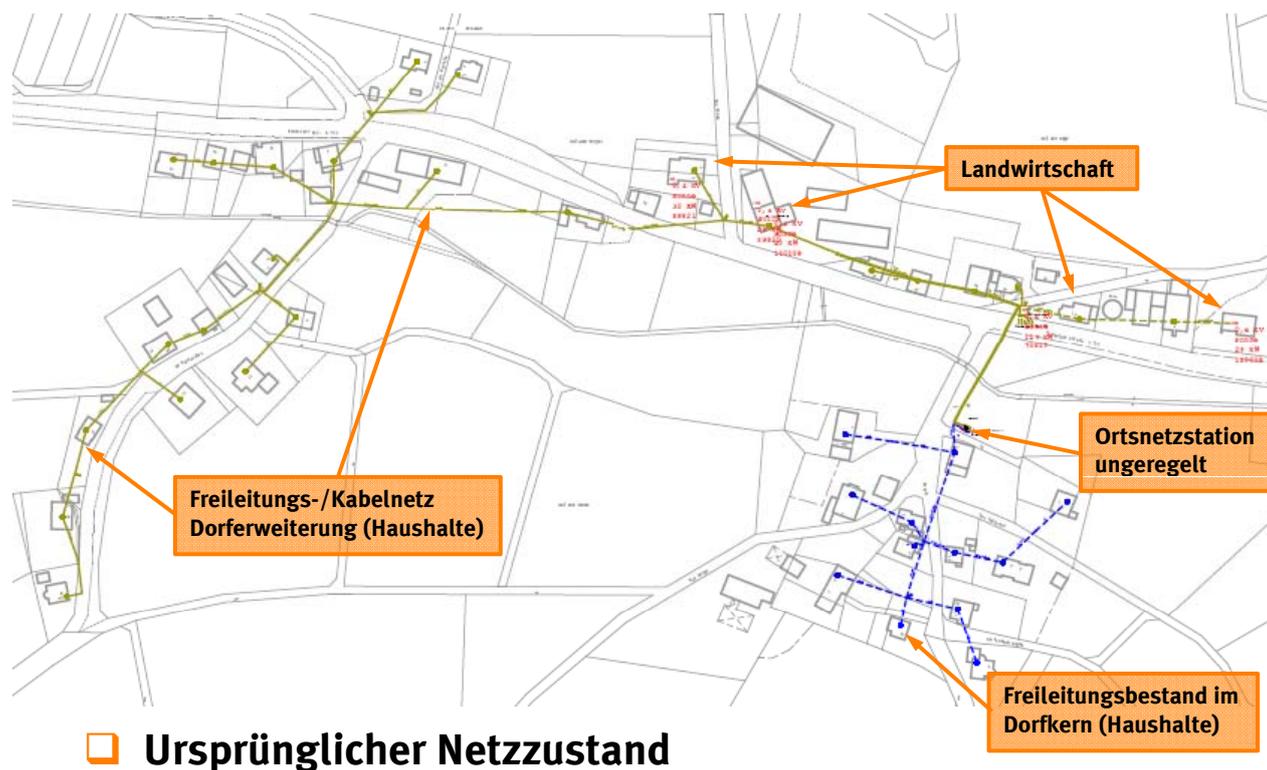
Optimale Stufenstellung wurde eingestellt:  
 n(alt) = 0 --> n(neu) = -1

Unzulässige Stufen, bei denen Spannungsband verletzt werden

Kleinster ZFW = Optimale Trafo-Stufung

# Anwendungsbeispiel: Ländliches Ortsnetz mit PV-Zubau

- Motivation
- Entwicklungsziel
- Realisierung mit der Schnittstelle NPL
- Anwendung Trafo-Regelung
- Fazit und Ausblick



Weitbereichsregelung mit NPL

Prof. Dr.-Ing. G. Harnischmacher 24.02.2015

# Anwendungsbeispiel: Ländliches Ortsnetz mit PV-Zubau



# Anwendungsbeispiel: Ländliches Ortsnetz mit PV-Zubau

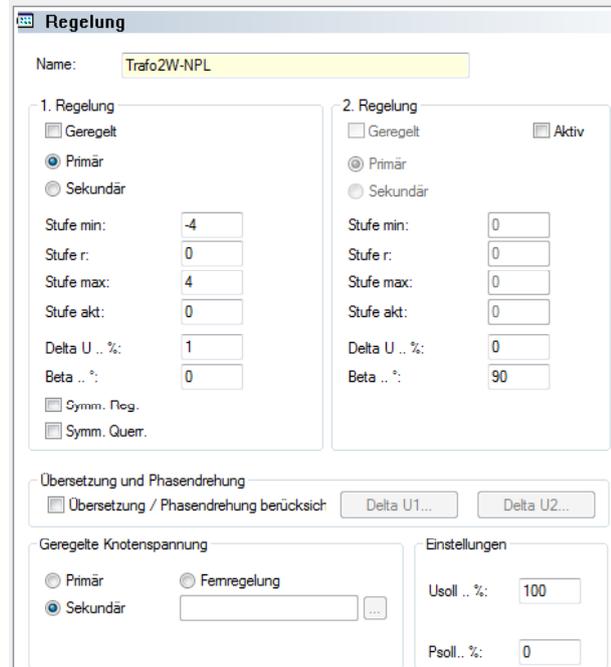
- Motivation
- Entwicklungsziel
- Realisierung mit der Schnittstelle NPL
- Anwendung  
Trafo-Regelung
- Fazit und Ausblick

## Fragestellung:

- Ist ein weiterer Netzausbau mit einem rONT vermeidbar?
- Wie müsste eine (Weitbereichs-)Regelung spezifiziert werden?
- Wieviele Messpunkte wären wo notwendig?

## Vorgaben:

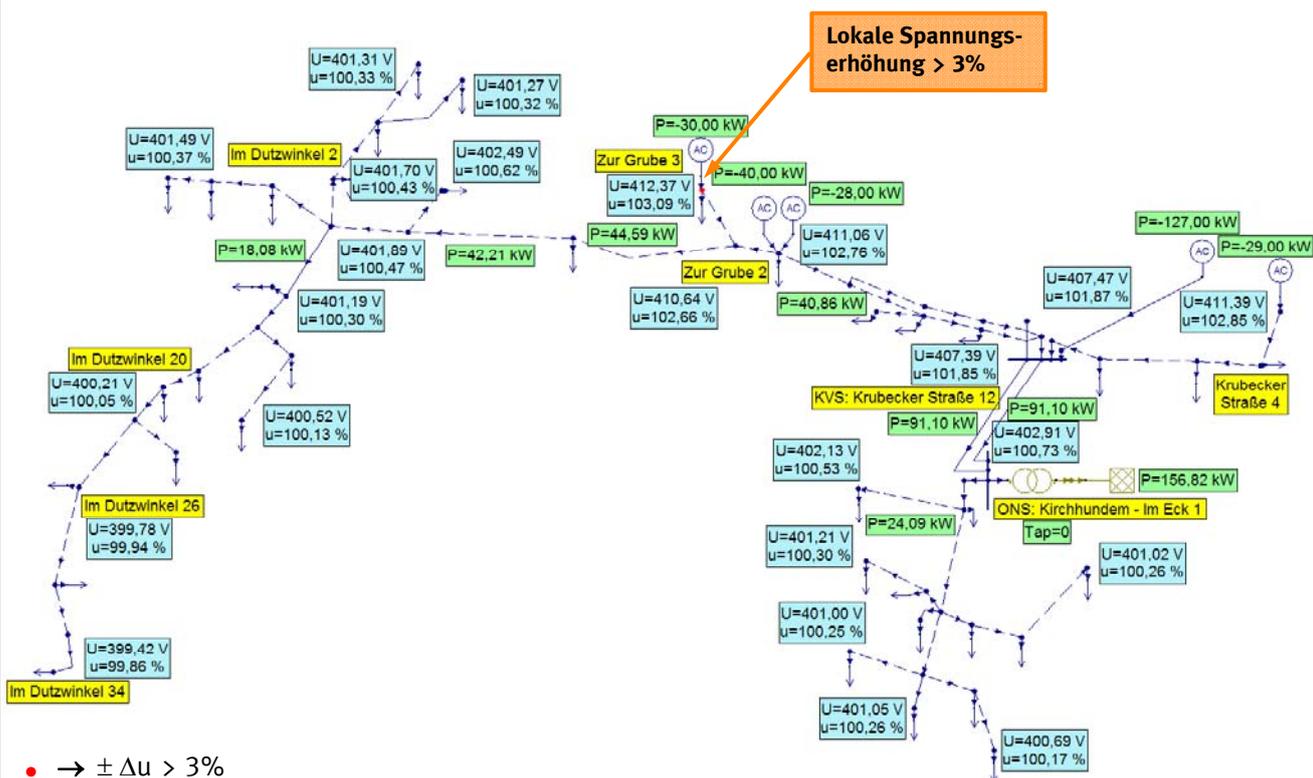
- Trafospezifikation
- Spannungsband für alle Knoten  $\pm 10\%$  (gem. DIN EN 50160)
- NS-Spannungsband mit/ohne PV:  
 $\Delta u = \pm 3\%$  (gem. VDE-AR)



Weitbereichsregelung mit NPL

# Analyse ohne Traforegelung: Max. PV Einspeisung, max. Last

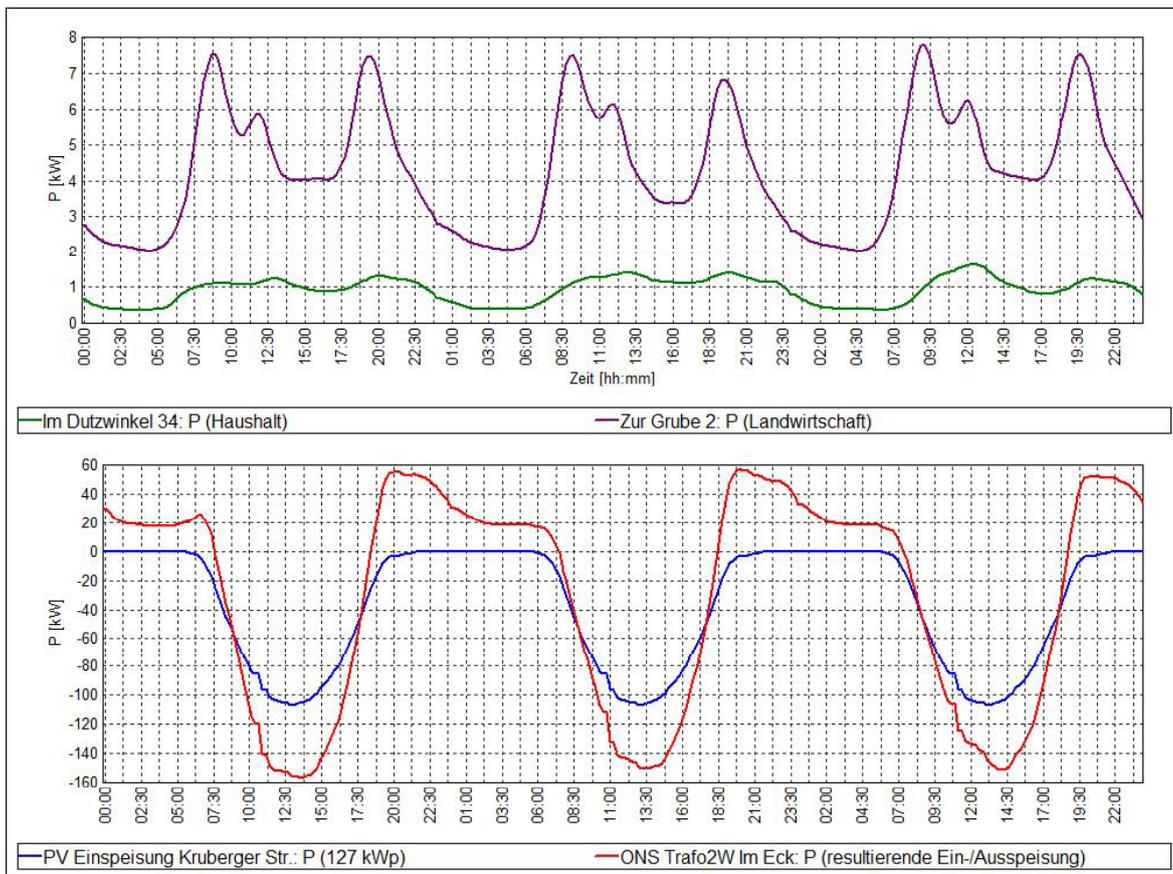
- Motivation
- Entwicklungsziel
- Realisierung mit der Schnittstelle NPL
- Anwendung  
Trafo-Regelung
- Fazit und Ausblick



Weitbereichsregelung mit NPL

# Analyse ohne Traforegelung: Last-/Einspeiseprofilprognose

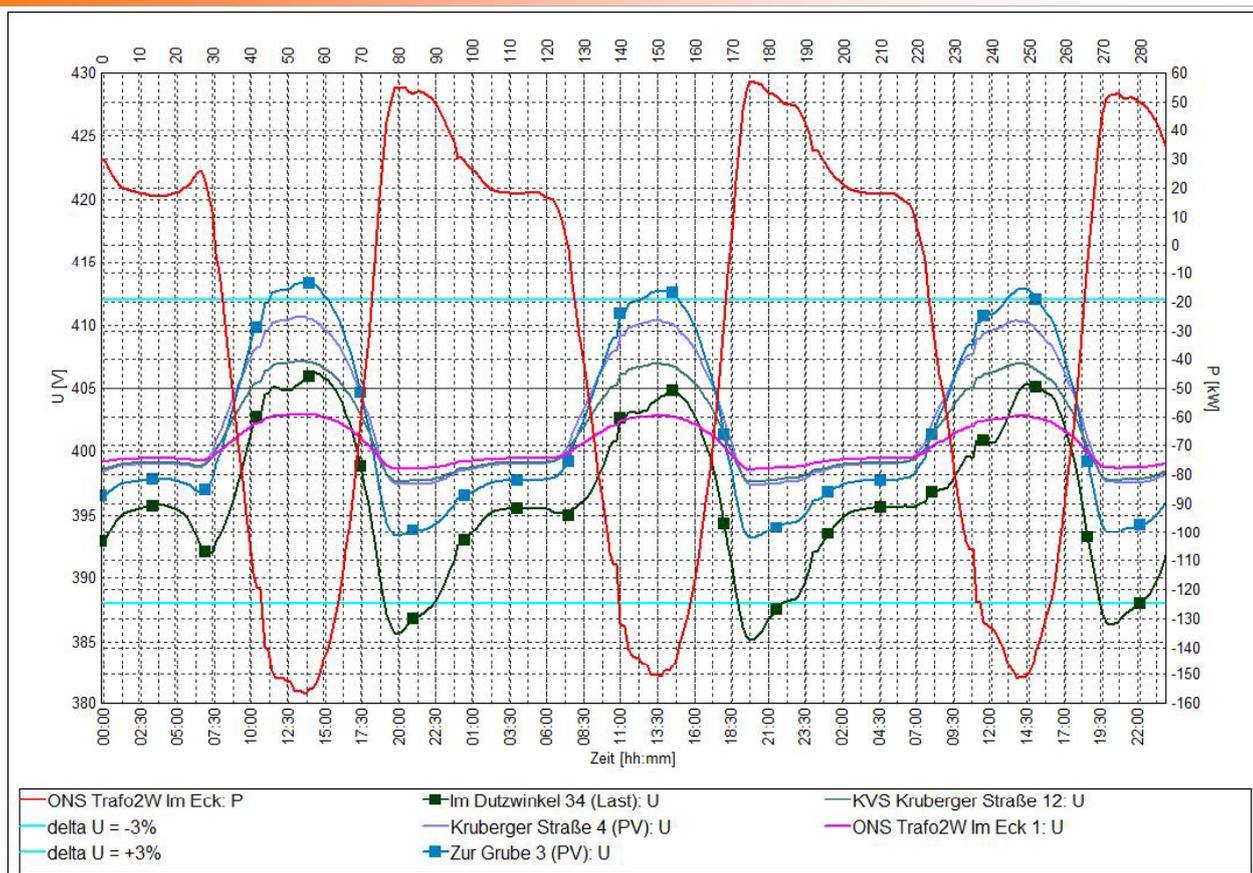
- Motivation
- Entwicklungsziel
- Realisierung mit der Schnittstelle NPL
- Anwendung Trafo-Regelung
- Fazit und Ausblick



Weitbereichsregelung mit NPL

# Analyse ohne Traforegelung: Prognose Spannungsprofil (Skalierte PV Einspeisung und Last)

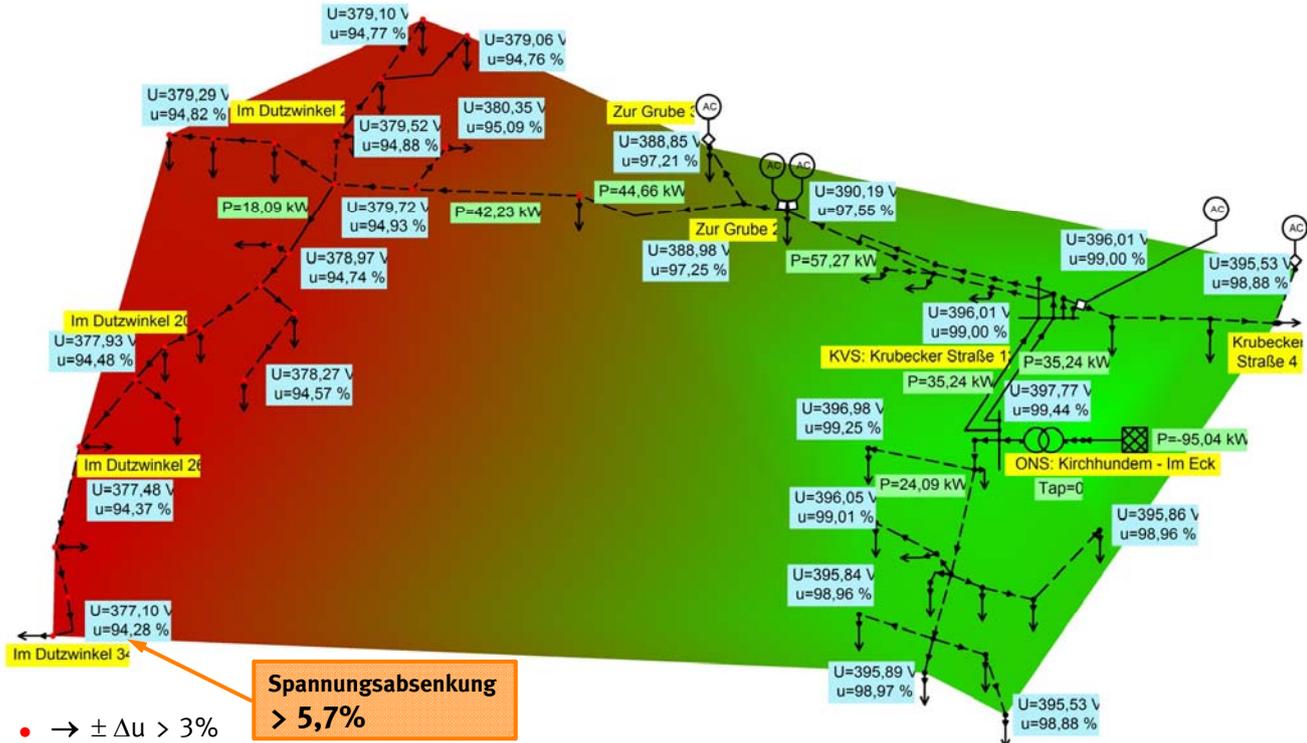
- Motivation
- Entwicklungsziel
- Realisierung mit der Schnittstelle NPL
- Anwendung Trafo-Regelung
- Fazit und Ausblick



Weitbereichsregelung mit NPL

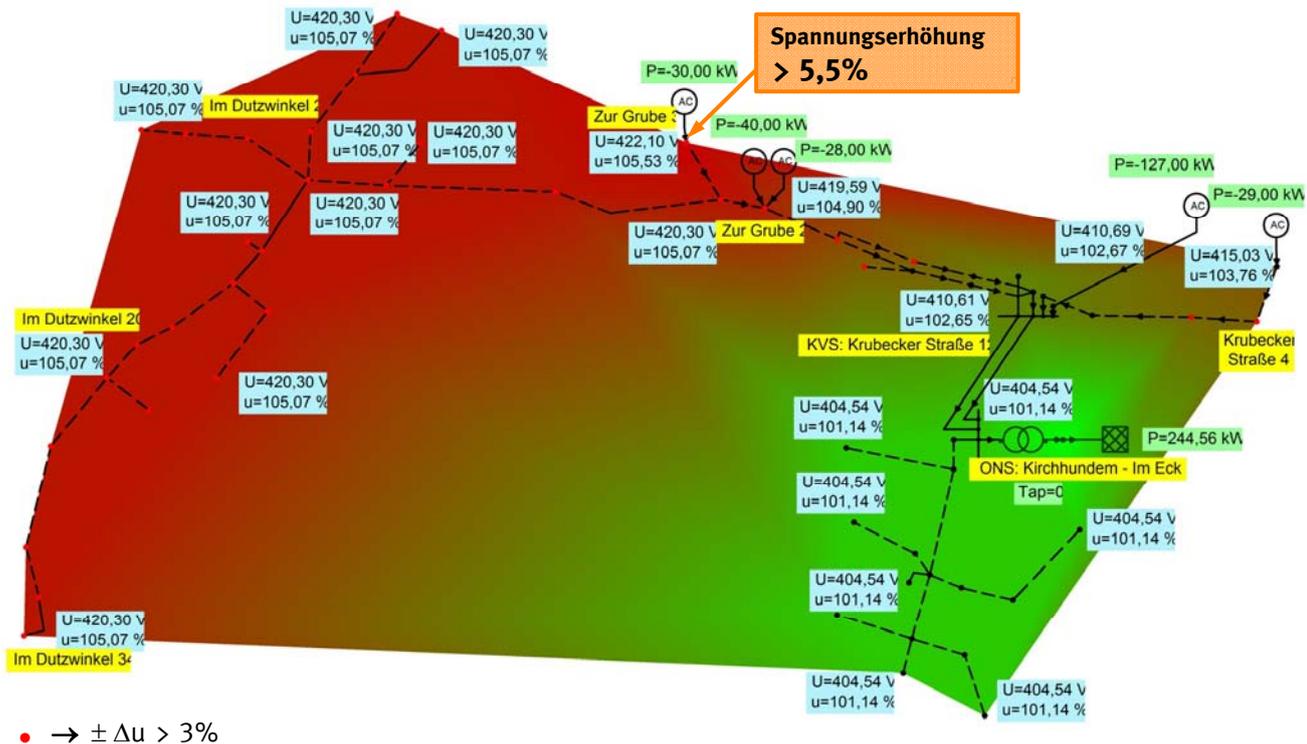
# Extremwertanalyse ohne Traforegelung: Keine PV Einspeisung, max. Last

- Motivation
- Entwicklungsziel
- Realisierung mit der Schnittstelle NPL
- Anwendung Trafo-Regelung
- Fazit und Ausblick



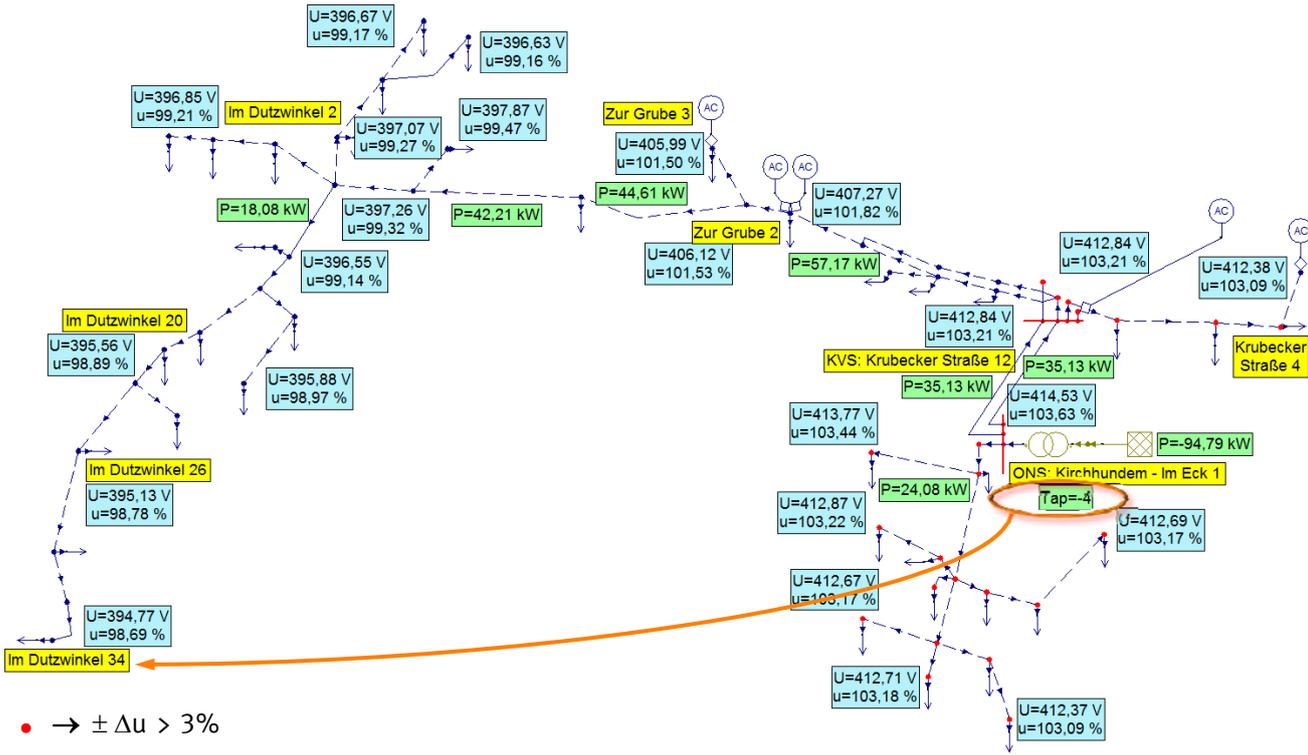
# Extremwertanalyse ohne Traforegelung: Max. PV Einspeisung, keine Last

- Motivation
- Entwicklungsziel
- Realisierung mit der Schnittstelle NPL
- Anwendung Trafo-Regelung
- Fazit und Ausblick



# Fernregelung des Knotens mit größter Spannungsabsenkung Keine PV Einspeisung, max. Last

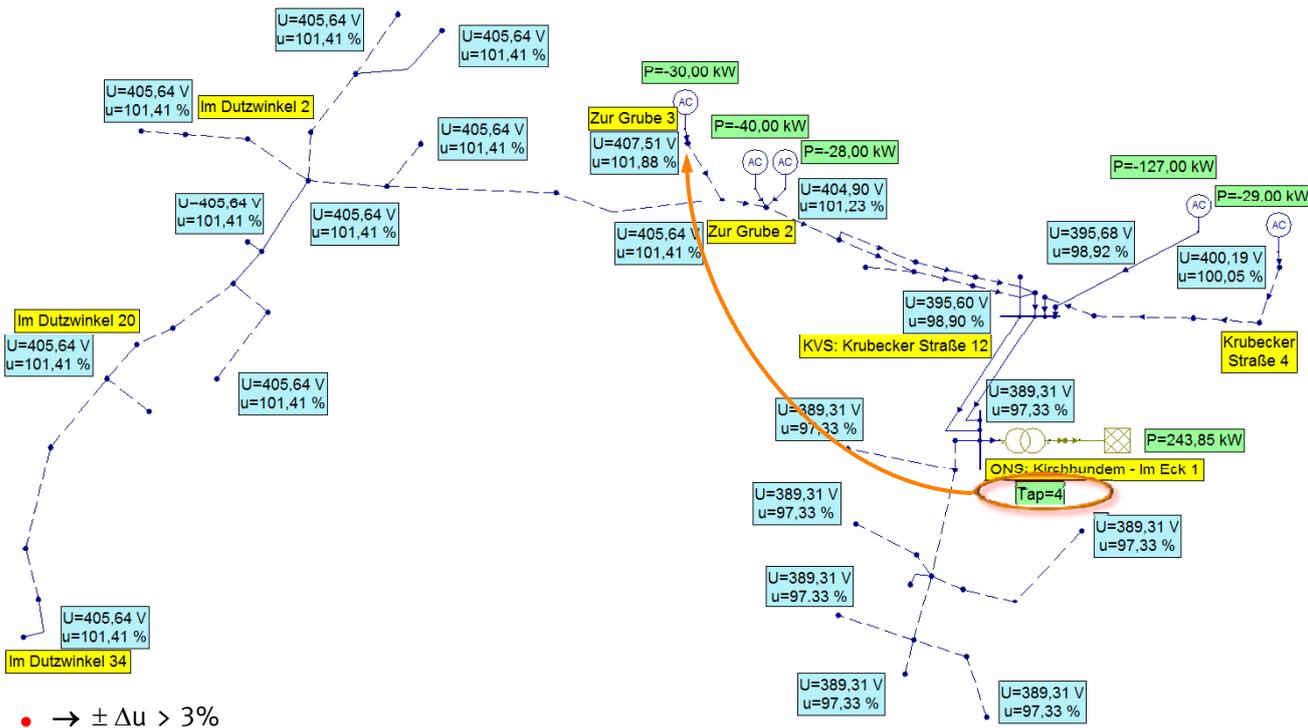
- Motivation
- Entwicklungsziel
- Realisierung mit der Schnittstelle NPL
- Anwendung Trafo-Regelung
- Fazit und Ausblick



Weitbereichsregelung mit NPL

# Fernregelung des Knotens mit größter Spannungsanhebung: Max. PV Einspeisung, keine Last

- Motivation
- Entwicklungsziel
- Realisierung mit der Schnittstelle NPL
- Anwendung Trafo-Regelung
- Fazit und Ausblick



Weitbereichsregelung mit NPL

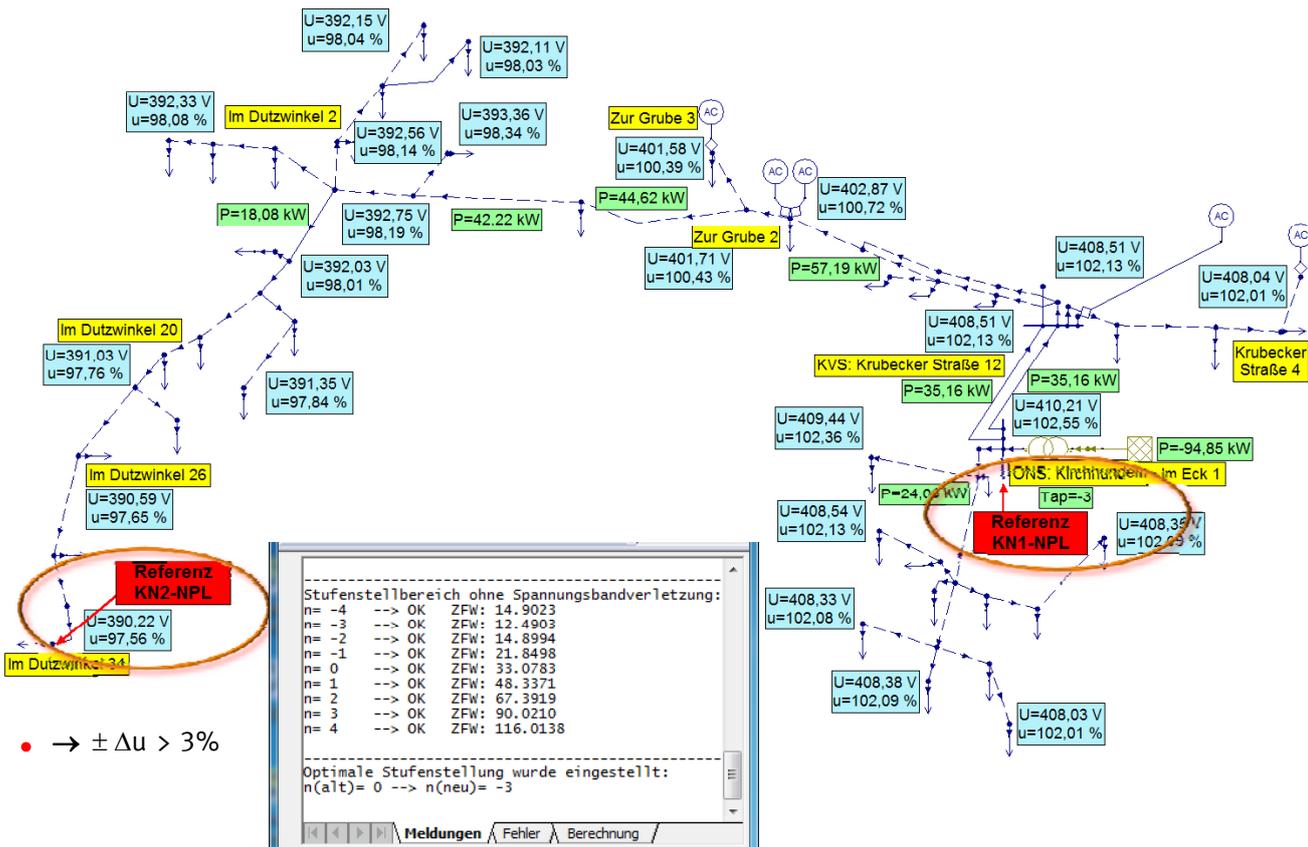
# Zwischenfazit: Fernregelung mit einem Referenzknoten

Motivation  
Entwicklungsziel  
Realisierung mit der Schnittstelle NPL  
Anwendung  
Trafo-Regelung  
Fazit und Ausblick

- ❑ Regelung für einen Referenzknoten mit größter Spannung bzw. kleinster Spannung fährt den Stufensteller in Extremsituationen an seine Grenze
- ❑ Sollwert für den Referenzknoten wird nicht erreicht
- ❑ Andere Spannungsbänder werden nicht berücksichtigt und würden ohne Reglerbegrenzung überschritten
- ❑ Gewünschtes  $\Delta u = \pm 3\%$  wird nicht bzw. kaum eingehalten
- ❑ US als alleiniger Referenzknoten auch ungeeignet, da Spannungshub bzw. -absenkung kleiner als Trafo-Stellgröße
- ❑ Analyse mit NPL-Programm und mehreren Referenzknoten
  - Optimierung der Weitbereichsregelung
  - Grenzwertanalyse

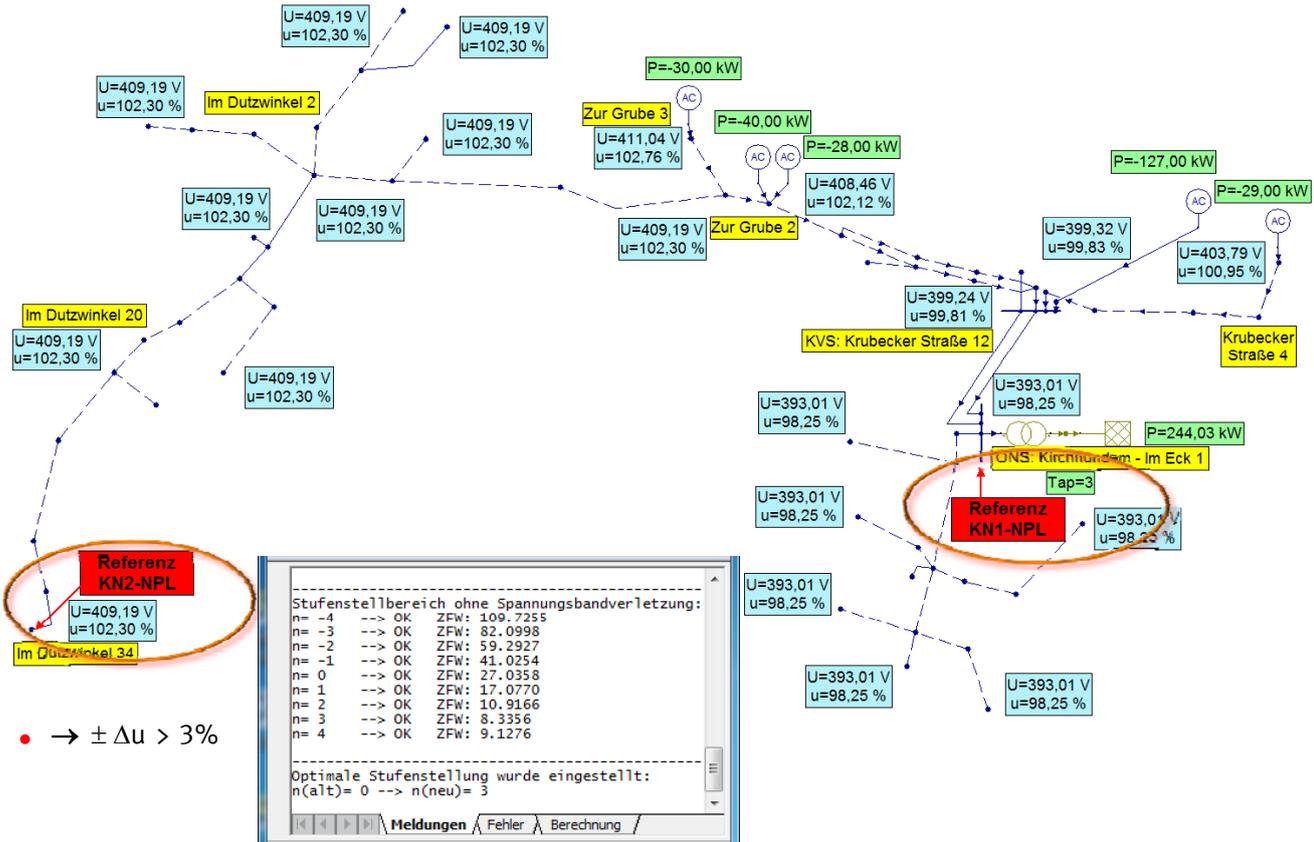
# Ergebnis mit NPL-Programm und zwei Referenzknoten: Keine PV Einspeisung, max. Last

Motivation  
Entwicklungsziel  
Realisierung mit der Schnittstelle NPL  
Anwendung  
Trafo-Regelung  
Fazit und Ausblick



# Ergebnis mit NPL-Programm und zwei Referenzknoten: Max. PV Einspeisung, keine Last

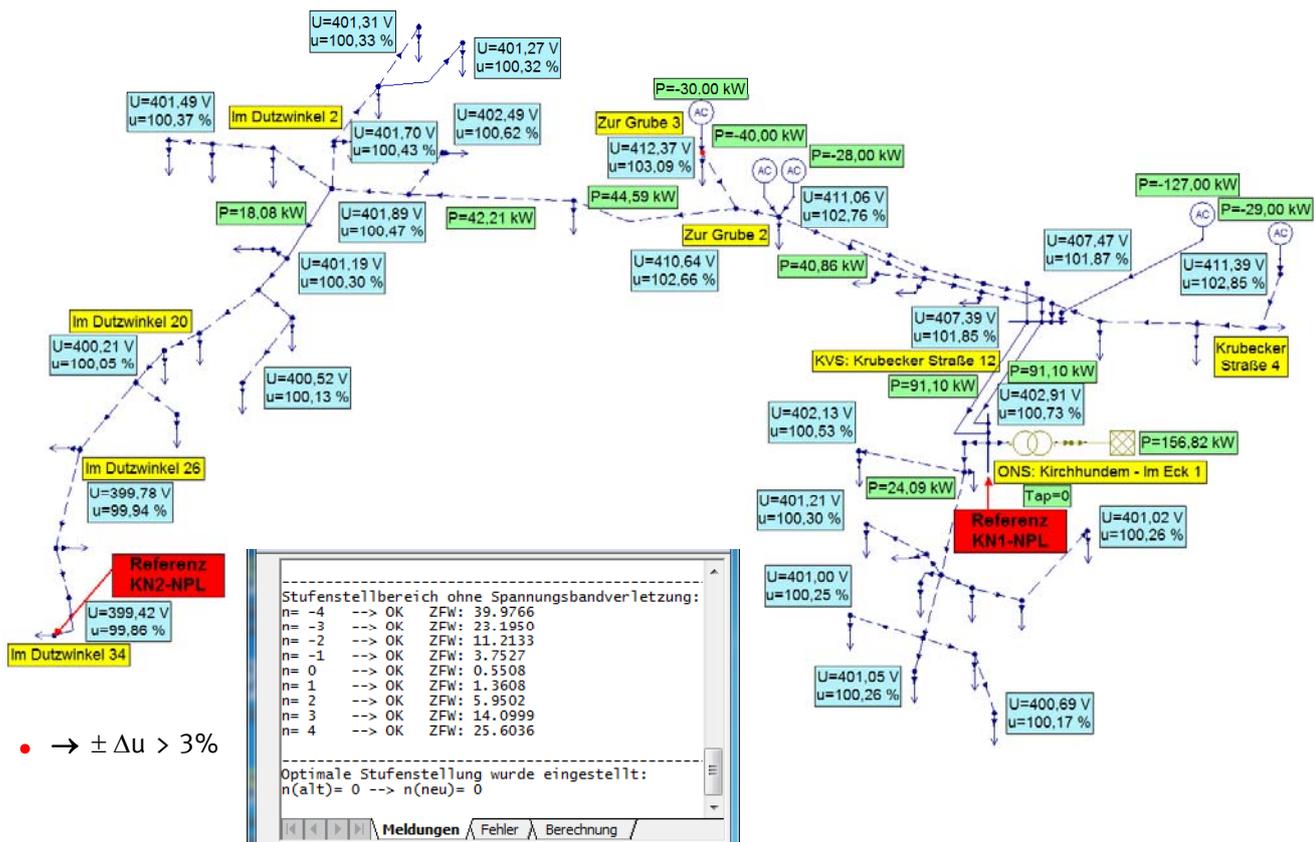
- Motivation
- Entwicklungsziel
- Realisierung mit der Schnittstelle NPL
- Anwendung Trafo-Regelung
- Fazit und Ausblick



Weitbereichsregelung mit NPL

# Ergebnis mit NPL-Programm und zwei Referenzknoten: Max. PV Einspeisung, max. Last

- Motivation
- Entwicklungsziel
- Realisierung mit der Schnittstelle NPL
- Anwendung Trafo-Regelung
- Fazit und Ausblick



Weitbereichsregelung mit NPL

## Fazit (1): Simulation Traforegelung mit NPL-Programm

Motivation

Entwicklungsziel

Realisierung mit der Schnittstelle NPL

Anwendung  
Trafo-Regelung

Fazit und Ausblick

### ❑ Vorab-Simulation zur Vermeidung „blinder“ Investitionen

### ❑ Spezifikation Weitbereichsregelung

- Spannungserhöhung und –absenkung wird optimal ausbalanciert
- Bei einfachen Strahlennetzen genügen i.d.R. zwei Referenzknoten: ONS-Einspeisung und entferntester Knoten mit  $\Delta u_{max}$
- rONT-Spezifikation ( $\Delta u$ ,  $r_{max/min}$ , Schaltspiele, Reglerfunktion)

### ❑ Erschließung und Prüfung von Handlungsoptionen

- Netzumschaltmaßnahmen
- Abstimmung mit Einspeiserkennlinien und Blindleistungsmanagement
- Eindeutige Aussage zu Netzausbau, wenn keine zulässige Stufung einstellbar ist

### ❑ Weitere Einsatzbereiche

- Verwendung über mehrere Spannungsebenen
- Auslastungsoptimierung (Phasenschieber) im vermaschten Netz
- Ergänzungen der Zielfunktion; z.B. Element-Auslastung, Verluste

## Fazit (2): Verwendung der NPL-Programmierschnittstelle

Motivation

Entwicklungsziel

Realisierung mit der Schnittstelle NPL

Anwendung  
Trafo-Regelung

Fazit und Ausblick

### ❑ Software-Entwicklung:

- Gut einzusetzen, fast alle Funktionen und Parameter verfügbar
- Erfahrung in C-Programmierung hilfreich
- NPL-Dokumentation besitzt Luft nach oben
- **Wünschenswert:**
  - Eigenständige Ein-/Ausgabemöglichkeiten
  - Schnittstelle zu objektorientierten Entwicklungsumgebungen (Java, Visual Basic, C#)
  - Aussagekräftigere Statusangaben der Aufrufe (z.B. nicht existierende Benutzervariablen)
  - Besseres Debugging

### ❑ Anwendung eines lauffähigen .dll-Tools in Neplan:

- Problemlose Handhabung bei Netzanalysen
- Geeignet für einfache, überschaubare Netzoptimierungstools
- Automatisierung wiederkehrender Analyseschritte oder iterative Parameteränderungen

**Danke für die Aufmerksamkeit!**



**Fragen oder Anregungen?**

[harnischmacher@fh-dortmund.de](mailto:harnischmacher@fh-dortmund.de)