

## Restrukturierung im 10/20-kV-Netz

**Thomas Höhn<sup>1</sup>, Florian Javernik<sup>1</sup>, Thomas Mallits<sup>1</sup>, Ernst Schmutzner<sup>1</sup>, Lothar Fickert<sup>1</sup>, Alfred Einfalt<sup>2</sup>, Franz Zeilinger<sup>2</sup>, Gerhard Hafner<sup>3</sup>, Herbert Steurer<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Institut für Elektrische Anlagen/TU-Graz, Inffeldgasse 18 8010 Graz, +43-316 873 8069, thomas.hoehn@tugraz.at, <http://www.ifea.tugraz.at/>

<sup>2</sup> Siemens AG Österreich, Siemensstraße 90 1210 Wien, +43-51707-0, alfred.einfalt@siemens.com

<sup>3</sup> Wiener Netze GmbH, Mariannengasse 4-6, 1090 Wien, +43-1-90190-32500, gerhard.hafner@wienenergie-stromnetz.at

<sup>4</sup> Netz Burgenland GmbH, Kasernenstraße 9, 7000 Eisenstadt, +43-5-7790-1361, herbert.steurer@netzburgenland.at

**Kurzfassung:** Verteilernetzbetreiber haben die Aufgabe ihre Netze ausfallsicher und kostenoptimiert zu betreiben. Es müssen weiter immer Überlegungen gemacht werden, wie den die Struktur des Netzes selbst verbessert werden kann. Die Wiener Netze GmbH führen vor Investitionen eine Zielnetzplanung durch, in der Struktur- bzw. Restrukturierungs-Überlegungen gemacht werden. Die Netzburgenland GmbH setzt bei ihren Netz-Restrukturierungsmaßnahmen verstärkt auf die Fehlerortungsfunktion KNOPE.

Diese Arbeit beruht auf Ergebnissen des Forschungsprojektes REstrukt-DEA, das durch Mittel der FFG gefördert wurde (Projektnummer: 834650) [1].

**Keywords:** Sternpunktbehandlung, Verteilernetz, Ausfallzeit, KNOPE

### 1 Behandlung des Sternpunktes in elektrischen Hochspannungs-Netzen

Wird von der Sternpunktbehandlung eines Hochspannungsnetzes gesprochen, geht es um die Art und Weise der Transformatorsternpunkterdung. Dabei wird unterschieden, ob der Transformatorsternpunkt isoliert, niederohmig, starr geerdet oder gelöscht<sup>1</sup> betrieben wird. In gelöschten Netzen bietet sich in Ergänzung zur Erdschlusslöschung die Möglichkeit der

---

<sup>1</sup> Nach dem derzeitigen Stand der Technik werden Verteilernetze im europäischen Raum vorwiegend gelöscht, d.h. mit Erdschlusskompensation, betrieben. Durch die Kompensation wird der Erdfehlerstrom (Fehlerstrom bei einem einpoligen Fehler, Erdschluss im MS-Netz) durch Kompensation der durch die Erd-Kapazitäten im Netz generierten Fehlerstromanteile mittels induktiven Löschstrom durch eine Löserspule (Petersen-Spule), die in einem Netzknoten zwischen Transformatorsternpunkt und Erdungsanlage geschaltet wird, auf einen niedrigen Wert begrenzt, der entweder eine Fehlerbeseitigung auf luftisolierten Anlagenteilen (Selbstlöschung des Erdschlusses Stromnulldurchgang) oder einen weiteren Betrieb der Leitung unter Erdschluss bis zur Ortung und Abschaltung der fehlerbehafteten Freileitung erlaubt. Die gesunden Leiter erfahren im Erdschlussfall allerdings eine höhere Isolationsbelastung durch eine Spannungsanhebung um das 1,7-fache, wodurch die Gefahr von weiteren Isolationsfehlern (Doppel- oder Mehrfacherdschlüsse) entsteht. In der Regel ist der einpolige Erdschlussstrom einerseits sehr klein, andererseits behindert aber die Kleinheit des Fehlerstroms eine rasche und zuverlässige Fehlererkennung und Abschaltung des fehlerbehafteten Abzweigs.

Fehlerortungsfunktion KNOPE<sup>2</sup> an, um die unter <sup>1</sup> angeführten Probleme, die sich bei Anwendung der Erdschlusslöschung ergeben zu lösen.

Die Entscheidung über die Art der Sternpunktterdung basiert somit auf unterschiedlichen Kriterien, d.h. Netzgröße, Spannungsebene, Überspannungsbeanspruchung, Verfügbarkeit sowie im Erdungssystem hervorgerufene Potentialanhebungen (Schritt- und Berührungsspannungen) spielen eine Rolle bei der Wahl der geeignetsten Methode zur Sternpunktbehandlung.

### 1.1 Netze mit isoliertem Sternpunkten

Historisch gesehen handelt es sich bei dieser Sternpunktbehandlung um die älteste Art, die auch heute noch bei kleinen 6- bis 10-kV-Anlagen angewendet wird [2]. Die Sternpunkte der Transformatoren sind nicht geerdet. Im Falle eines Erdfehlers wird der Fehlerstrom im Wesentlichen nur durch die Erdkapazität  $C_E$  bestimmt.

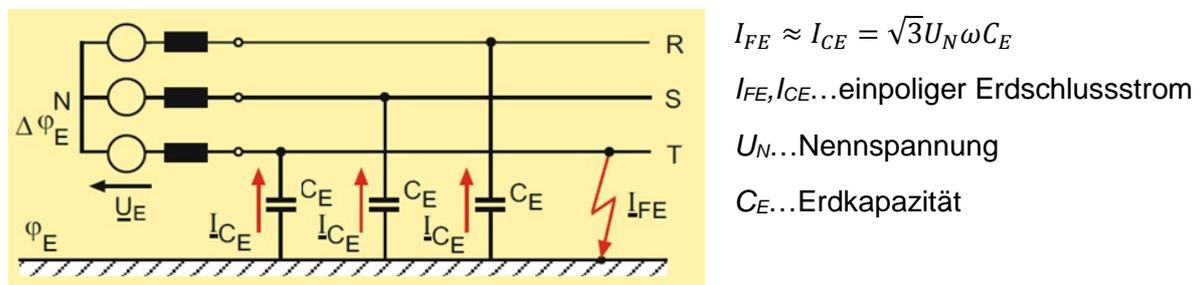


Abbildung 1: Netz mit isoliertem Sternpunkt [3]

### 1.2 Netze mit niederohmiger Sternpunktterdung

Die niederohmige Sternpunktterdung liegt genau dann vor, wenn im Netz mindestens ein Sternpunkt entweder direkt oder über eine niederohmige Impedanz mit der lokalen Erdungsanlage des Erdpotential verbunden ist [2].

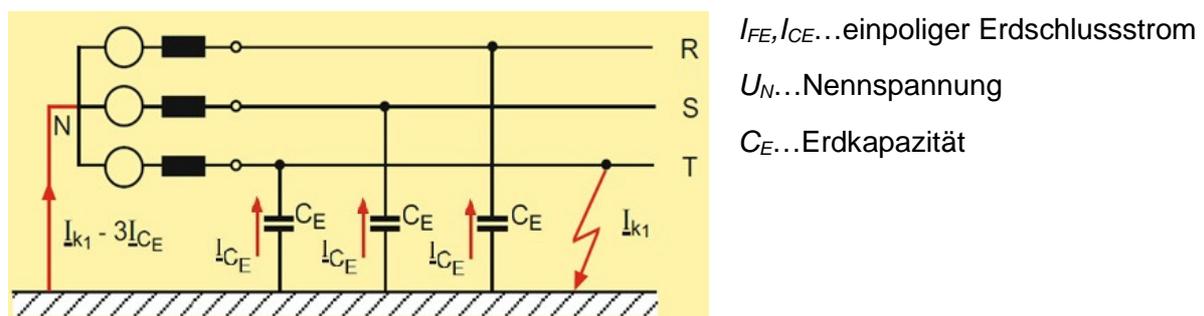


Abbildung 1: Struktur der niederohmigen Sternpunktterdung [3]

<sup>2</sup> KNOPE: Kurzzeitige niederohmige Phasenerdung

### 1.3 Netze mit gelöschtem Sternpunkt (Resonanzsternpunkterdung–RESPE)

Bei ausgedehnten Netzen erhöht sich der Erdschlussstrom aufgrund der größer werdenden Summe der Erdkapazitäten von Kabeln und Freileitungen. Der Erdschlussstrom lässt sich durch das Zuschalten einer Erdschlusskompensationsspule (Petersenspule) an mindestens einem Sternpunkt verringern, d.h. der kapazitive Teil des Fehlerstroms wird an der Fehlerstelle kompensiert und soweit verkleinert, dass ein selbsttätiges Erlöschen des Fehlerstroms erwartet werden kann. Die Erdschlusslöschspule ist verstellbar ausgeführt, um an die jeweilige wirksame Erdkapazität, bei unterschiedlichen Netzkonfigurationen und Schaltvarianten angepasst werden zu können. Kompensierte Netze weisen den Nachteil auf, dass bei einem Erdschluss die Phasenspannung in den gesunden Zweigen um den Faktor  $\sqrt{3}$  steigen.

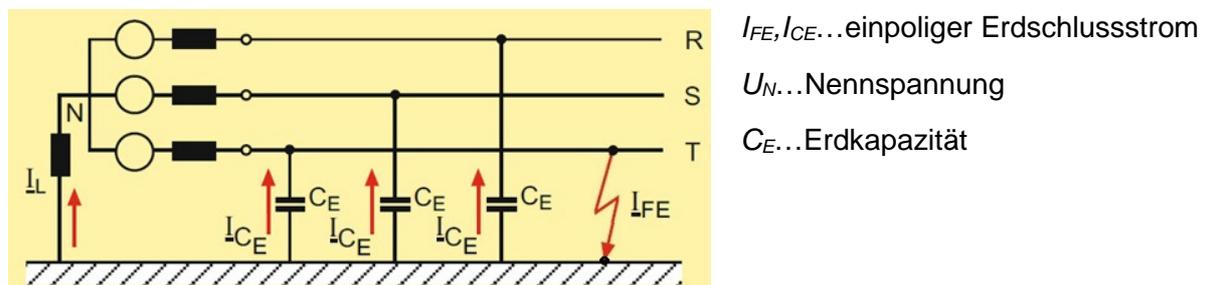


Abbildung 2: Netz mit gelöschten Sternpunkt [3]

Neben der wünschenswerten Charakteristik eines gelöschten Netzes, dass im Erdschlussfall ein Erdfehler nicht sofort abgeschaltet und somit im Netz die Versorgung der Kunden nicht unterbrochen werden muss, besteht jedoch ein Nachteil bei dieser Sternpunktbehandlung darin, dass der Fehlerstrom sehr klein und nur schwer detektierbar ist und somit eine selektive Fehlerklärung schwer fällt. Die im Folgenden beschriebene Fehlerortungsfunktion KNOPE löst dieses Problem.

### 1.4 Fehlerortungsfunktion KNOPE

Das Verfahren der Kurzzeitigen Nieder-Ohmigen Phasenerdung (KNOPE) erzeugt für kurze Zeit einen kräftigen Ortungshilfsstrom, welcher in der fehlerbehafteten Phase vom Umspannwerk zur Fehlerstelle und zurück über Kabelschirme, Begleiterder oder sonstige leitende Strukturen fließt. Im Gegensatz zur KNOSPE, wird beim KNOPE-Verfahren im Falle eines anstehenden Erdschlusses, nach einer kurzen Wartezeit, eine gesunde Phase mit Hilfe eines Strombegrenzungswiderstandes  $R_{CC}$  zusätzlich kurzzeitig geerdet. Dieser Widerstand hat, aufgrund der höheren treibenden Spannung (verkettete Spannung) einen um  $\sqrt{3}$  größeren Wert als im Fall der KNOSPE. Dadurch nimmt die Größe des Ortungshilfsstromes deutlich weniger mit der Entfernung ab als beim „KNOSPE“-Verfahren, bei dem parallel zur Petersenspule ein Widerstand zugeschaltet wird [4].

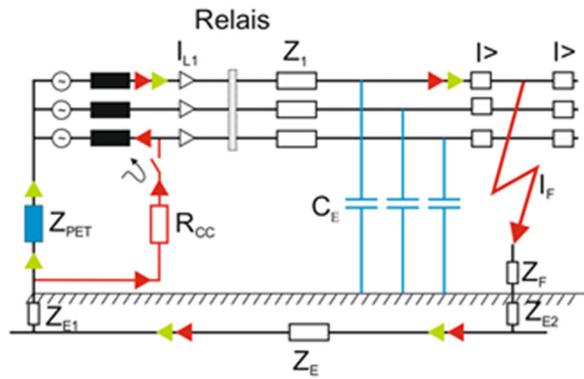


Abbildung 3: Prinzip Schaltung des KNOPE-Verfahrens [4]

### Phasenauswahlschaltung

Da am Markt nur einphasige Leistungsschalter schwer erhältlich waren, wurden in der Praxis bisher zwei standardmäßige dreiphasige Leistungsschalter verwendet.

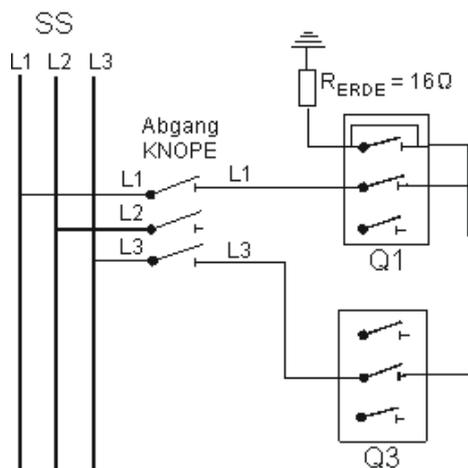


Abbildung 5: Primärschaltbild des KNOPE-Aufbaus

Die Phasenauswahlschaltung bestimmt eine fehlerfreie Phase und schaltet entweder Q1 oder Q3, womit der Ortungsstrom über die Fehlerstelle und über den Widerstand zurück zum Transformator fließt. Die Phasenauswahl wird in folgender Tabelle dargestellt.

Fehlerphase	Auswahlphase für KNOPE Widerstand
L1	L3
L2	L3
L3	L1

Tabelle 1: Schaltzustände des KNOPE-Widerstands bei unterschiedlichen einpoligen Erdfehlern

## 2 Restrukturierung im Verteilernetz der Netz Burgenland GmbH

Aufgrund von Problemen bei der Erdschlusserkennung im gelöschten Stadtnetz Eisenstadt wurde die KNOPE (kurzeitige niederohmige Phasen Erdung) als Methode zur Verbesserung der Fehlererkennungsrate praktisch umgesetzt und erprobt. Die technischen Eckdaten des Stadtnetzes, sowie die Umsetzung der KNOPE-Installation werden in den nächsten Abschnitten dargestellt [1].

### 2.1 Stadtnetz Eisenstadt

Anlass für die Umstellung auf KNOPE war die Fehlerbilanz 2012: Es ereigneten sich in diesem Jahr 12 Doppelerdschlüsse in Folge von einfachen Erdschlüssen, die im ungünstigsten Fall längere Zeit anstehen können. Beim betrachteten Netz, betrieben von der Netz Burgenland Strom GmbH, handelt es sich um ein gelöschtes 20-kV-Netz, welches im Regelbetrieb von einem 40-MVA-Umspanner gespeist wird und hauptsächlich die Landeshauptstadt Eisenstadt versorgt. Die 20-kV-Leitungen bestehen größtenteils aus im Dreieck verlegten Kabeln mit einem kleinen Anteil an Freileitungen. Den Kern des vermascht betriebenen Netzes bilden 9 Schalthäuser. Da Eisenstadt als Landeshauptstadt als erste Stadt im Burgenland bereits in den Jahren 1970-1974 verkabelt wurde, existieren in diesem Netz noch alte PE-Mittelspannungskabel. Da bei den auftretenden Doppelerdschlüssen Kurzschlussströme bis zu 10 kA erwartet werden müssen, die eine extreme Belastung und Gefahr für diese Mittelspannungskabel darstellen, musste eine Lösung zur Reduktion des Gefahrenpotenzials gefunden werden die, neben dem bereits laufenden Austausch dieser alten Kabel, rasch realisiert werden kann. Die KNOPE-Schaltzelle inklusive Relaisauswahlschaltung und KNOPE-Widerstand sind auf den beiden folgenden Bildern ersichtlich:



Abbildung 6: Linkes Bild: Relaisauswahlschrank, rechtes Bild: Relaisauswahlschaltung und KNOPE Widerstand (kleinerer Schrank)

#### 2.1.1 Versuche im realen Netzbetrieb

Die KNOPE wurde im bestehenden Stadtnetz getestet. Da die Erdschlüsse jedes Mal eine Belastung für das gesamte Kabelnetz darstellen, wurden nur 2 Versuche durchgeführt. Um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, wurden ein Fehler auf einer Stichleitung und ein Fehler im vermaschten Netz getestet. Beide Tests waren erfolgreich und die vorausberechneten Abschaltzeiten wurden eingehalten. Die durch die KNOPE-Schaltung verzerrten 20-kV-Dreiecksspannungen spiegeln sich direkt in der Sternspannung der Niederspannungsseite wieder (Dyn5-Trafo). Die Überprüfung der Spannungshübe auf der

NS-Ebene bestätigte die Berechnungen. Das +/-10%-Band wurde nicht verlassen. Bereits 4 Tage nach der Inbetriebnahme ereignete sich ein Kabelfehler an einer von einem Schalthaus wegführenden Stichleitung der erfolgreich mittels KNOPE kann detektiert und abgeschaltet werden konnte. Siehe dazu die unten stehende Abbildung.

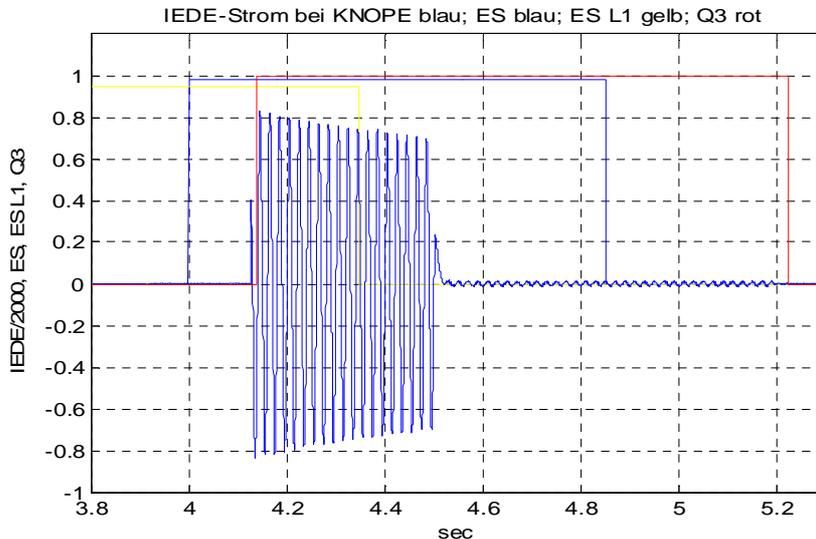


Abbildung 7: Die Aufzeichnung des Störfalles vom 21. Juni 2014

Der blaue rechteckige Verlauf kennzeichnet das Allgemeinerdschlussignal vom Schutzgerät (Trigger).

Deutlich sichtbar ist der sinkende KNOPE-Strom aufgrund des höher werdenden Fehlerwiderstandes am Fehlerort durch die Erwärmung. Drei Monate nach der erfolgreichen KNOPE-Abschaltung war das betroffene Netz immer noch fehlerfrei.

Zusätzlich konnte bewiesen werden, dass die thermisch-mechanische Kabelzerstörung durch die Abschaltung nach 300 ms nur sehr klein war, sodass eine einzige Muffe für die Reparatur ausreichte. Üblicherweise ist der Kabelschaden bei einem Doppelerdschluss so groß, dass ein neues Leiterstück mit Hilfe von zwei Muffen eingesetzt werden muss. Seit die KNOPE in Betrieb ist (Juni 2014), ereigneten sich vermutlich infolge der schnellen Abschaltung der 1-poligen Erdschlüsse nur 3 Doppelerdschlüsse, dem gegenüber stehen 12 Doppelerdschlüsse aus dem Jahr 2012. Für eine gesicherte statistische Aussage über die Korrelation von Doppelerdfehlern und KNOPE-Betrieb, ist jedoch noch eine längere Beobachtungszeit nötig daher ist weiter geplant, die KNOPE in zwei weiteren Netzbezirken im Burgenland zum Einsatz zu bringen.

### 3 Restrukturierung eines Mittelspannungsnetzes der Wiener Netze GmbH

Im Rahmen dieses Projektteiles zur Restrukturierung eines Mittelspannungsnetzes, wurde ein urbanes Mittelspannungsnetz im dicht verbauten Stadtgebiet in Wien (Bereich des Umspannwerks Josefstadt) und ein Mittelspannungsnetz mit suburbanen Charakter im Bereich des Umspannwerks Baden untersucht. Vom Forschungspartner Wiener Netze

GmbH wurden umfassende Daten und Informationen über die Teilnetze zur Verfügung gestellt.

### **3.1 Entwickeltes Vorgehensmodell von Wiener Netze GmbH**

Ziel dieses Teilprojektes war es, jeden Mittelspannungsabzweig und alle zugehörigen Querverbindungen im Detail zu erfassen und unter Beachtung folgender Rahmenbedingungen die Netzstruktur zu optimieren:

- Zahl der Mittelspannungsabzweige der untersuchten Umspannwerke sind zu reduzieren
- Ca. 10 Transformatorstationen pro Mittelspannungsabzweig verwenden
- Jede 5. Station soll eine Kuppelstelle zu einer Nachbarleitung haben
- Direktleitungen sollen unverändert bleiben
- Errichtung von intelligenten Automatisierungssystemen zur Reduzierung von Ausfallzeiten
- Belastbarkeit der Kabel sind entsprechend der Bauform zu berücksichtigen

Das Ergebnis der Optimierung soll eine deutliche Verringerung der Mittelspannungsabzweige sowie eine Reduktion der Verbindungsmuffen mit einer Erhöhung der Netzzuverlässigkeit bewirken [5].

### **3.2 Urbanes Netzgebiet**

Das urbane Mittelspannungsnetz wird durch das Netzgebiet des UW Josefstadt in Wien repräsentiert. Es handelt sich dabei um ein 10-kV-Netz mit einem Kabelanteil von 100 %. Dieses 10-kV-Netz ist durch eine hohe Lastdichte gekennzeichnet und weist daher viele Ortsnetzstationen auf.

Die hauptsächlichen Änderungen in der Zielnetzplanung waren:

1. Reduzierung der Anzahl der Abgänge von 13 auf 9,
2. Reduzierung der Umschaltmöglichkeiten auf deutlich einfachere Strukturen (Mitte und Ende des Abgangs),
3. Reduzierung der Anzahl an ON-Stationen von 131 auf 114 (-13%), durch Transfer zu einem anderen UW bzw. durch Auflassen und Zusammenfassen der Stationen,
4. Erhöhung der durchschnittlichen Anzahl von ON-Stationen pro Abgang von 10,07 Stationen auf 12,67 Stationen,
5. Reduzierung der Anzahl der Kabelverbindungen von 154 auf 107 (-30%, deutlich überproportionaler als die Reduktion der ON-Stationen), bei gleichzeitiger Verringerung der Gesamtkabellänge von 35 km auf 19,1 km (Reduktion um 45%), es kommt somit zu einer deutlichen Verkürzung der mittleren Kabellängen - lange Kabel mit Längen größer 750 m werden vollständig durch kürzere ersetzt.

Unten abgebildet sind die Netzmodelle des Ausgangsnetzes und des angestrebten Zielnetzes dargestellt.

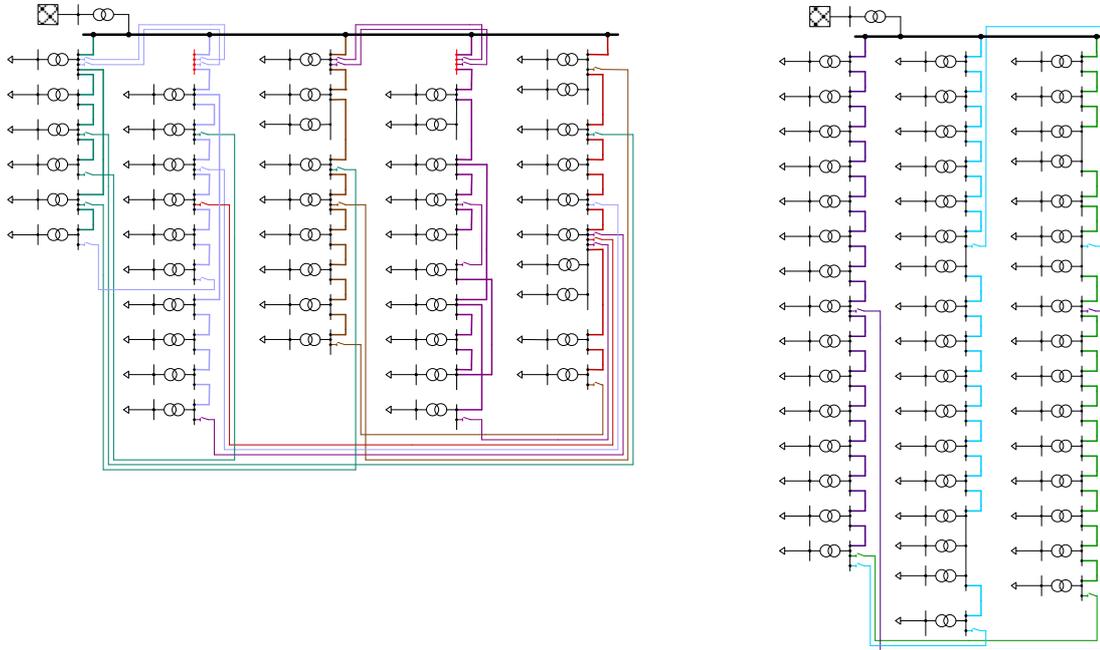


Abbildung 8: Direkter Vergleich des Ausgangsnetzes mit dem Zielnetz

### 3.3 Suburbanes Netzgebiet

Das zweite Modellnetz mit suburbanem Charakter wird durch das Netzgebiet des UW Baden repräsentiert. Es handelt sich um ein 20-kV-Netz, mit einer Mischung aus Kabel- und Freileitungsstrecken. Das suburbane Netzgebiet ist über einen Regeltransformator (110 kV/20 kV) mit einer Leistung von 40 MVA an das Hochspannungsnetz angeschlossen.

Bei der Zielnetzplanung kam es dabei zu folgenden Änderungen:

1. Erhöhung der Abgänge von sechs auf neun,
2. deutliche Reduktion der Verzweigungen im Netz,
3. Reduktion der ON-Stationen von ursprünglich 213 auf 180 (-15%),
4. die mittlere Anzahl von ON-Stationen pro Abgang wird deutlich von 35,5 auf 20 reduziert,
5. Reduktion der Leitungsverbindungen von 247 auf 204 (-17 %),
6. Reduktion der Gesamtleitungslänge von 109,3 km auf 94,64 km (-13 %),
7. Veränderung des Freileitungsanteils von 45 % auf 34 % (-11 %).

Die mittlere Abzweiglänge bleibt in diesem Fall fast unverändert, sie erhöht sich aber tendenziell (von ursprünglich 442,4 m auf 463,9 m, entspricht +5%).

Der letzte Punkt beschreibt die unterschiedliche Vorgangsweise im Zuge dieser Netzumstrukturierung im Vergleich zum vorangegangenen Fall des urbanen Netzgebiets. Bei den Leitungslängen kommt es im Rahmen der Optimierung aber im Vergleich zum Ausgangsnetz sogar zu einer Zunahme von sehr langen Leitungen (bis 3,5 km).

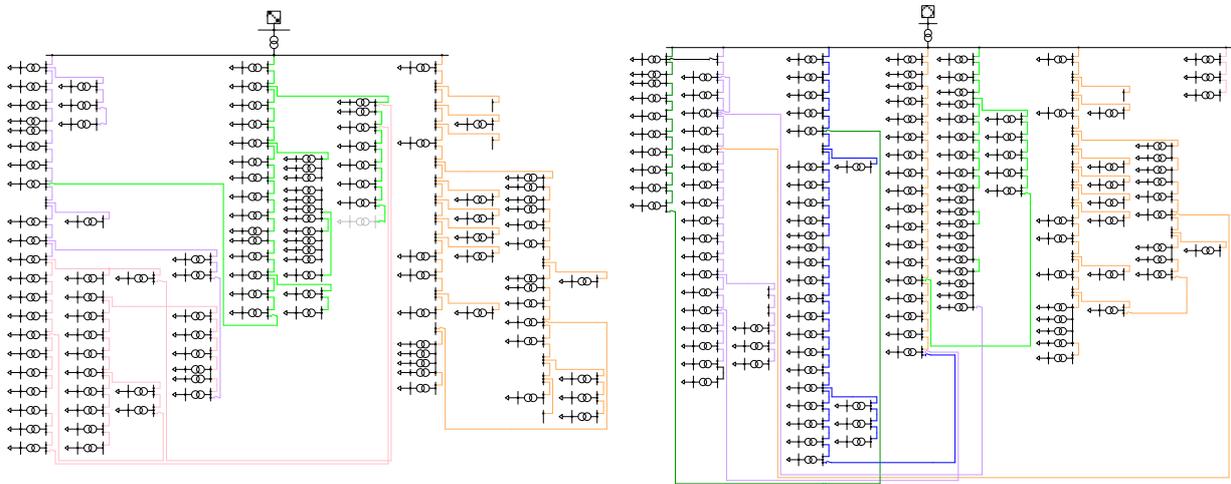


Abbildung 9: Schematischer Vergleich der Umstrukturierung des suburbanen Netzes (Ausschnitt aus Gesamtnetz); links: Ausgangssituation, rechts: Zielnetz

## 4 Steigerung der Versorgungszuverlässigkeit

### 4.1 Wirkung der Restrukturierungsmaßnahmen im 10-kV-Netz Josefstadt

Wie in 3.2 dargelegt, wurde anhand des 10-kV-Netzes Josefstadt ein Vorgehensmodell zur Zielnetzplanung entwickelt und schließlich ein Zielnetz entworfen. Die ersten daraus abgeleiteten Maßnahmen, die Verkürzung und Erneuerung der Kabelstrecken zwischen dem Umspannwerk und den jeweils ersten Ortsnetzstationen stehen derzeit unmittelbar vor der Fertigstellung. Ein Nachweis der Wirkung dieser Maßnahmen aus den Ausfallkennzahlen ist daher noch nicht eindeutig möglich. Die Anzahl der Störfälle liegt im Jahr 2014 bis Ende Oktober in allen Netzbezirken bereits deutlich unter den Werten der Vorjahre.

Um den verschärften Rahmenbedingungen - steigender Kostendruck, sinkende Kapitaldecke, gefährlich sinkende Isolationsfestigkeit vieler alter 10-kV-Netze - wirksam zu begegnen, ein Konzept ausgearbeitet, welches auf drei Stoßrichtungen basiert:

1. Rascher Abbau von historisch gewachsenen Überkapazitäten
2. Risiko- und zustandsorientierte Erneuerung unter Einsatz neuer Methoden zur Investitionssicherung (Kabelverlegung in Schutzrohren), Ausschluss neuer Schwachstellen durch strenge Überprüfungen bei der Übernahme vor der Inbetriebnahme (verschärftes Qualitätsmanagement)
3. Möglichst schonende Betriebsweise (Minimierung der erkannten fehlerauslösenden Stressfaktoren)

## 4.2 Ersparnisanalyse bei Restrukturierung

Die für die Versorgung wichtigsten Speisekabelstrecken sind bedingt durch die erhöhte Belastung – alle Kurzschlussströme fließen durch diese Speisekabelstrecken – dem höchsten Verschleiß ausgesetzt und daher vorrangig zu erneuern. Die Zielnetzplanung zielt hier auf möglichst kurze Speisestreckenlängen, im Mittel kürzer als 500 m Länge, ab. Bei einer technischen Lebensdauer von 50 bis 60 Jahren müssten jährlich durchschnittlich 80 bis 100 km Kabel allein in Wien erneuert werden. Bei durchschnittlichen Kilometerkosten von 150.000 € wären für den Bestandserhalt etwa 15 Mio. € vorzusehen.

In der folgenden Tabelle werden die Restrukturierungsmaßnahmen des urbanen Netzes (UW Josefstadt) zusammengefasst dargestellt:

Restrukturierungsposition		Restrukturierung		Einsparpotential
		Vor	Nach	
Anzahl der Mittelspannungsabgänge	-	13	9	<b>30%</b>
Ortsnetztrafostationen	-	131	114	<b>13%</b>
Anzahl der ON - Stationen pro Abgang	-	10,07	12,67	-
Kabelverbindungen	-	154	107	<b>30%</b>
Gesamtkabellänge	km	35	19,1	<b>39%</b>

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Maßnahmen vor und nach der Restrukturierung

In der folgenden Tabelle werden die Restrukturierungsmaßnahmen des suburbanen Netzes (UW Baden) zusammengefasst dargestellt:

Restrukturierungsposition		Restrukturierung		Einsparpotential
		Vor	Nach	
Anzahl der Mittelspannungsabgänge	-	6	9	-
Ortsnetztrafostationen	-	213	180	<b>15%</b>
Anzahl der ON - Stationen pro Abgang	-	35,5	20	<b>44%</b>
Kabelverbindungen	-	247	204	<b>17%</b>
Gesamtkabellänge	km	109,3	94,6	<b>13%</b>
Freileitungsanteil	%	45%	34%	<b>11%</b>

Tabelle 3: Gegenüberstellung der Maßnahmen vor und nach der Restrukturierung

## 5 Schutz und Automatisierung

### 5.1 Umsetzbarkeit und Wirksamkeitsabschätzung nachhaltiger Schutz- und Automatisierungskonzepte

Im Zuge des Forschungsprojekts REstrukt-DEA wurden verschiedene Automatisierungsvarianten hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Zuverlässigkeit mithilfe eines Simulationsmodelles verglichen. Als repräsentative Leitung für das Pilotnetz mit hohem Störungsaufkommen wurde eine Leitung des UW Baden für die Simulation herangezogen. Diese Leitung versorgte im Jahr 2012 74 Netzstationen, besteht aus Freileitungs- und Kabelstrecken und erstreckt sich über ein weitläufiges Gebiet. Die Leitung ist stark verzweigt und verfügte über 14 Kuppelstellen zu benachbarten Leitungen. Dagegen speist die Leitung im Jahr 2014 nach mehreren Restrukturierungsschritten nur mehr 6 Stationen. Die für die Simulation festgelegten Varianten waren:

1. Verlegung der Netztrennstelle in eine in der Leitungsmitte liegende, zu automatisierende Ortsnetzstation: für die Netzunterteilung und Netzkupplung muss dann nur eine Station automatisiert werden
2. Ausrüstung mit ferngemeldeten KSA (Kurzschlussanzeiger)
3. Ausrüstung mit ferngemeldeten KSA und fernsteuerbaren Kabellasttrennern
4. Ausrüstung mit KNOPE im UW, ferngemeldete KSA und ferngesteuerten KLT (Kabellasttrenner) in der Zentralstation
5. Ersatz der KLT durch Leistungsschalter mit KS-Schutzeinrichtung in der Zentralstation
6. NOSPE<sup>3</sup> im UW, ferngemeldete KSA, ferngesteuerte KLT in der Zentralstation

Zur vergleichenden Beurteilung wurde die Ausfallzeit bzw. Versorgungsunterbrechung nach einem Fehler herangezogen. Für die sechs Automatisierungsvarianten wurde die Ausfallzeit für Erdschlussfehler auf der ersten und zweiten Leitungshälfte (alle Abzweige nach der automatisierten Station) ermittelt. Die Zentralstation unterteilt die Leitung in zwei oder mehr Abschnitte abhängig von der Anzahl der abgehenden Abzweige. Bei der Einschätzung der Anfahrtszeiten wurden die unterschiedlichen Weglängen für die Fehlereingrenzung, Fehlerfortschaltung und Wiederversorgung anhand der praktischen Erfahrungen realitätsnah berücksichtigt. Die Leitungsabzweige in den Ortsnetzstationen der Wiener Netze sind mit Kabellasttrennern und mechanischen Überstromanzeigern ausgestattet. Im Fokus der Störungsbehebung steht die möglichst rasche Wiederversorgung der Kundenanlagen. Das Auffinden und Freischalten der Fehlerstrecke oder des Fehlerortes ist gegenüber der Wiederversorgung möglichst vieler Kundenanlagen nachrangig. So konnte die Entscheidung für eine tatsächliche Umsetzung getroffen werden. Aufgrund der Simulationsergebnisse wurde Variante 3 auf der Pilotleitung zum UW Baden umgesetzt.

---

<sup>3</sup> KNOSPE: kurzzeitige niederohmige Sternpunktterdung

## **6 Ergebnisse und Schlussfolgerungen**

### **6.1 Urbanes Netz - UW Josefstadt**

Restrukturierungsmaßnahmen: Ein exakter Nachweis der Wirkung dieser Maßnahmen aus den Ausfallkennzahlen ist derzeit noch nicht möglich, da der Beobachtungszeitraum für Aussagen über ein elektrisches Verteilernetz zu kurz ist. Die Anzahl der Störfälle liegt im Jahr 2014 bis Ende Oktober in allen Netzbezirken jedoch deutlich unter den Werten der Vorjahre. Die Last- und Einspeiseverhältnisse im umstrukturierten Netz (UW Josefstadt) sind gemäß den Ergebnissen der Simulation nahezu ident zu denen des aktuellen Ist-Zustandes. Dies lässt sich damit begründen, dass die Anzahl der Transformatorstationen im Mittelspannungsnetz, sowie die Anzahl der gesamten Lastpunkte in allen unterlagerten Niederspannungsnetzen beinahe gleich geblieben ist. Das Einsparpotenzial an Leitungen und Schaltfeldern beträgt in Josefstadt ca. 25 % des Gesamtbestandes. Im Stromversorgungsbereich UW Josefstadt wurde als zusätzliche Maßnahme eine geänderte Koordinierung der Wartungsteams betreffend der Anzahl der Teams, die gleichzeitig zur Störungsbehebung ausgeschiedt werden, getroffen. In diesem Fall wird damit der SAIDI-Wert um 50 % verringert.

### **6.2 Suburbanes Netz mit Freileitungsanteil - UW Baden**

Die Zielnetzplanung im Netzgebiet UW Baden erreichte ein Einsparpotential von 44 % hinsichtlich der gemittelten Anzahl der Ortsnetz-Transformatorstationen pro Mittelspannungsabgang. Die Nichtverfügbarkeit der Anlagen kann gemäß den Simulationen, sofern die Restrukturierung vollständig umgesetzt wird, um 20 % verringert werden. Die teilweise Automatisierung des Netzgebiets des UW Baden erreicht hingegen eine Zuverlässigkeitssteigerung von über 50 %. Die Wiener Netze GmbH zieht die Netzrestrukturierung der Kabelsanierung und Automatisierung vor, da restrukturierte Netze in weiterer Folge einfacher zu automatisieren sind.

### **6.3 Urbanes Netz mit geringem Freileitungsanteil - UW Eisenstadt**

Im Stadtnetz Eisenstadt wurde die Fehlerortungsfunktion KNOPE realisiert und getestet. Um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, wurden im Rahmen von Versuchsmessungen ein Fehler auf einer Stickleitung und ein Fehler im vermaschten Netz künstlich hervorgerufen. Beide Tests waren erfolgreich und die vorausberechneten Abschaltzeiten wurden eingehalten. Die KNOPE konnte 2014 in Betrieb genommen werden und hat sich im praktischen Netzbetrieb bereits bewährt, ein Erdschluss in einer Stickleitung wurde wie geplant erkannt und schnell abgeschaltet. Zu beachten ist im Fall des Einsatzes der Fehlerortungsfunktion KNOPE, dass durch den erhöhten Ortungsstrom erhöhte Berührungs- und Schrittspannungen und somit Personengefährdungen auftreten können. Aus diesem Grund sind bei Umstellung eines gelöschten Netzes auf KNOPE die Mittelspannungserdungsanlagen zu überprüfen.

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] REstrukt-DEA, Zuverlässigkeitssteigerung durch Netz-Restrukturierungen für dezentrale Energieerzeugungsanlagen, Neue Energien 2020: Graz, 2015, publizierbarer Endbericht.
- [2] K. Heuck, Elektrische Energieversorgung, Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2010.
- [3] A. J. Schwab, Elektroenergiesysteme, Berlin: Springer-Verlag, 2012.
- [4] L. Fickert, H. Steurer, J. Pasker, C. Raunig und T. Mallits, „Stromstarke präzise (Abschnitts-) Ortung im Erdschlussfall,“ ETG Fachbericht 143, Nürnberg, 2014.
- [5] M. Leitner, A. Jung und T. K. Schuster, „Mittelspannungssystemoptimierung im urbanen Raum,“ in *13. Symposium Energieinnovation 2014*, Graz, 2014.