

Einsparpotenzial in städtischen Stromverteilungsnetzen

Zielnetzuntersuchung in realen MS- und NS-Netzen am Beispiel der Stadtwerke Dinslaken

Eine genaue Untersuchung in städtischen Stromnetzen weist bei der heutigen Belastungssituation hohe Kapazitätsreserven aus, die zu einer Vereinfachung der Netzstruktur führen kann. Diese Vereinfachungen bieten bei gleichbleibender Versorgungsqualität und -sicherheit die Chance, Kosten zu reduzieren. Sie dürfen jedoch zu keiner Verschlechterung der $(n - 1)$ -Sicherheit führen.

Voraussetzung für die Gesamtbeurteilung von Stromverteilungsnetzen ist die Erstellung eines spannungsebenenübergreifenden Netzberechnungsmodells für das MS- und NS-Netz. Erst wenn alle Netzebenen in einem Netzmodell erfasst sind, können strategische Überlegungen zur Zielnetzentwicklung und Kostenreduzierung durchgeführt werden.

Mit dem Ziel, die Netzbetriebskosten für Wartung und Instandhaltung von Ortsnetzstationen zu senken, haben die Stadtwerke Dinslaken GmbH (SWD) die Rechenzentrum für Versorgungsnetze Wehr GmbH (RZVN) damit beauftragt, eine Zielnetzuntersuchung durchzuführen und Netzvereinfachungen und Rückbaumöglichkeiten für ausgewählte Ortsnetzstationen zu prüfen.

Beschreibung des Versorgungsgebiets

Der maximale Leistungsbedarf des Versorgungsgebiets beträgt rund 50 MW, hiervon können unter günstigen Bedingungen derzeit bis 9,5 MW aus dezentralen Energieerzeugungsanlagen (Biomasse-/Biomethan-BHKW und PV-Anlagen) gedeckt werden. Die Hauptversorgung des Stromnetzes der SWD geschieht mit fünf 30-MVA-Transformatoren aus dem vorgelagerten 110-kV-Netz. Das Niederspannungsnetz ist dabei über 280 Ortsnetzstationen und 302 Transformatoren (10/0,4 kV) mit dem Mittelspannungsnetz verbunden. Der häufigste Transformatortyp ist mit einer Nennleistung von 400 kVA ausgelegt. Die Gesamtlänge des Verteilungsnetzes der SWD beträgt 574 km. Mit einer Stromkreislänge von 376 km hat das Niederspannungsnetz den größten Anteil. *Tafel 1* beschreibt die Spannungsebenen.

Beschreibung der Zielnetzvarianten

Für die Untersuchung des Einsparpotenzials wurden zwei Zielnetzvarianten näher betrachtet. Hierzu wurden zwei Gruppen Transformatorstationen herangezogen, deren Rückbau für das Unternehmen von Interesse sein könnte:

- 74 Ortsnetzstationen, deren baulicher und/oder betrieblicher Zustand aufgrund protokollierter Inspektionen und Wartungsarbeiten ein mittelfristiges Handeln notwendig macht (Variante 1)
- 70 feststoffisolierte (Isopont-/Magnefix-) oder Mipak-Ortsnetzstationen, die mittelfristig aus betrieblichen Gründen ausgetauscht werden sollen (Variante 2).

Jede Zielnetzvariante umfasst somit rund 25 % der 280 Ortsnetzstationen,

die hinsichtlich ihrer Rückbaumöglichkeiten und Relevanz überprüft werden müssen. Nachfolgend werden die Untersuchungsergebnisse am Beispiel der jeweiligen Variante vorgestellt. Für die komplette Umsetzung dieser Zielnetzvariante – Stilllegung von 70 Ortsnetzstationen – müssten rund 30 % des gesamten Niederspannungsnetzes neu verschaltet werden (*Bild 1*).

Methodik

Die Ermittlung des Zielnetzes mit der Aufgabe, die vorgegebenen Rückbaumöglichkeiten möglichst umzusetzen, geschieht iterativ und in folgenden Schritten:

- Auswertung im Normalbetrieb
- Auswertung im Störfall.

Am Anfang einer Zielnetziteration werden im Rechenetzmodell alle Netz-

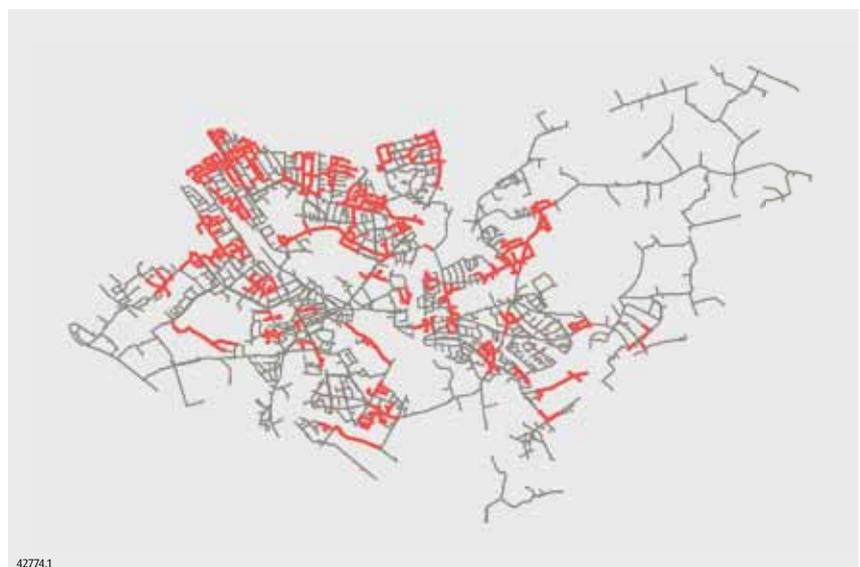


Bild 1. Betroffene NS-Netzteile beim Rückbau der Trafostationen gemäß Variante 2

stationen entsprechend der Variante 2 außer Betrieb gestellt und als schaltbare Kabelverteilerschränke weitergeführt. Anschließend werden für diesen Netzzustand die Trennstellen im NS-Netz neu angepasst und somit ein optimaler Schaltzustand (Netzoptimum) generiert, der dann für die weiteren Zielnetziterationen Normalzustand ist.

Auf dieser Basis wertet ein von RZVN entwickelter Algorithmus das erzeugte Zielnetz aus und filtert bei Grenzwertverletzungen die Stationen heraus, die wieder ans Netz angeschlossen werden müssen, um im Normalzustand einen zulässigen Netzzustand zu erreichen. Die Auswahl der Rückbaumöglichkeiten wird erneut reduziert und die Iterationen fortgeführt, bis das Zielnetz im Normalzustand alle notwendigen Bedingungen erfüllt. Ist dies der Fall, wird im Anschluss der Störfall untersucht.

Im Störfall wird hintereinander der Ausfall von jeweils einer der verbleibenden Ortnetzstationen simuliert. Hierzu wird im Rechenetzmodell die entsprechende Netzstation deaktiviert und aus dem resultierenden unversorgten Netzbereich mit benachbarten Teilnetzen ein Strahlennetz erzeugt. Bei Grenzwertverletzungen filtert ein Algorithmus die entsprechenden Stationen heraus, die nicht wegfallen dürfen und aktualisiert die Auswahl für die neue Zielnetziteration. Diese Schritte werden so oft wiederholt, bis ein zulässiger Netzzustand ohne neue Grenzwertverletzungen ermittelt ist.

Randbedingungen

Ausgangspunkt für die Zielnetzberechnung des Verteilungsnetzes in Dinslaken ist die Belastungs- und Einspeisesituation des Jahres 2013. Unter der Annahme des Spitzenlastbedarfs ohne dezentrale Energieeinspeisungen geschieht die Netzbewertung mit Lastflussberechnung. Als Indikatoren für einen zulässigen Netzbetrieb dienen hierbei Knotenspannungen sowie thermische Betriebsmittelauslastungen. Die zulässigen Spannungsgrenzen sind nach den Anforderungen der EN 50160 definiert, wonach unter normalen Betriebsbedingungen die langsamen Spannungsänderungen an jedem Netzanschlusspunkt ausgehend von der Netzennennspannung $\pm 10\%$ nicht überschreiten dürfen. Die Auslastungsgrenze der Betriebsmittel (Leitungen, Transformatoren) ist $< 100\%$.

Die Bewertung der iterativ gebildeten Zielnetzvarianten geschieht durch Gegen-

Stromnetz Stadtwerke Dinslaken		
Strukturmerkmale	Netz- bzw. Umspannebene	Bestand
Stromkreislänge	Mittelspannung	198 km
	Niederspannung	376 km
installierte Leistung	Hoch-/Mittelspannung	150 MVA
	Mittel-/Niederspannung (ONS)	120 MVA
Entnahmestellen	Hochspannung	4
	Mittelspannung	386
	Niederspannung	15 273

Tafel 1. Strukturmerkmale des Stromnetzes der Stadtwerke Dinslaken

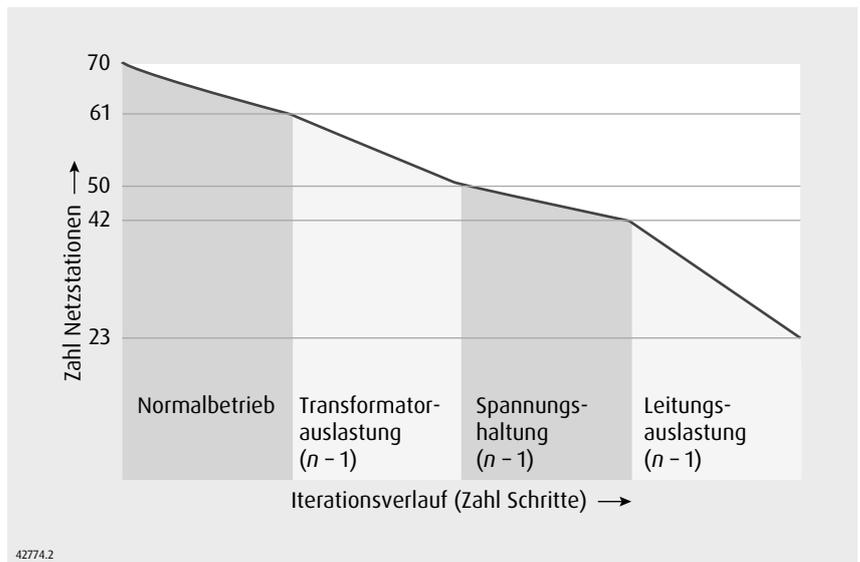


Bild 2. Zahl der Rückbaumöglichkeiten während des Optimierungsprozesses

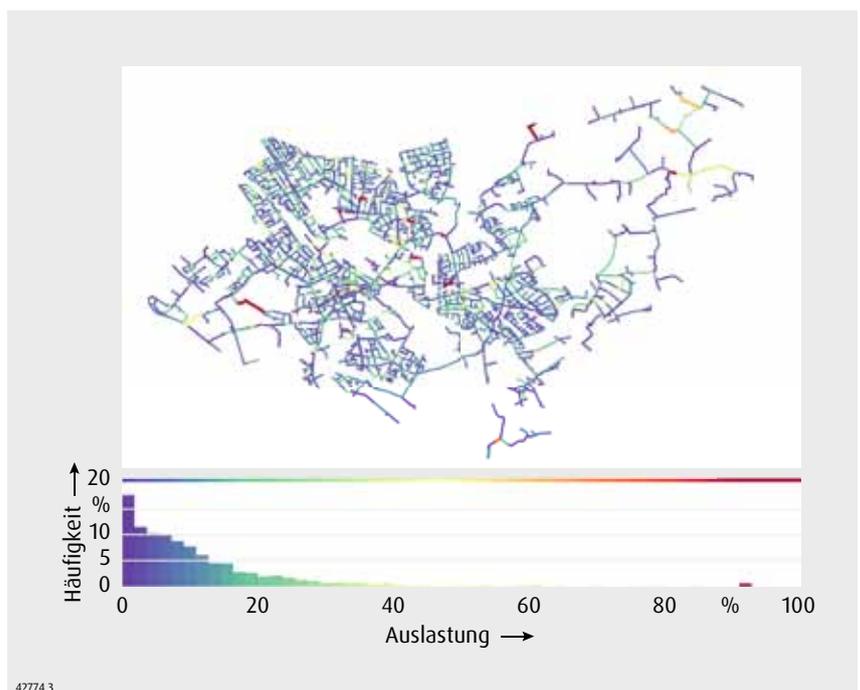


Bild 3. Leitungsauslastungen im Niederspannungsnetz für Zielnetzvariante 2

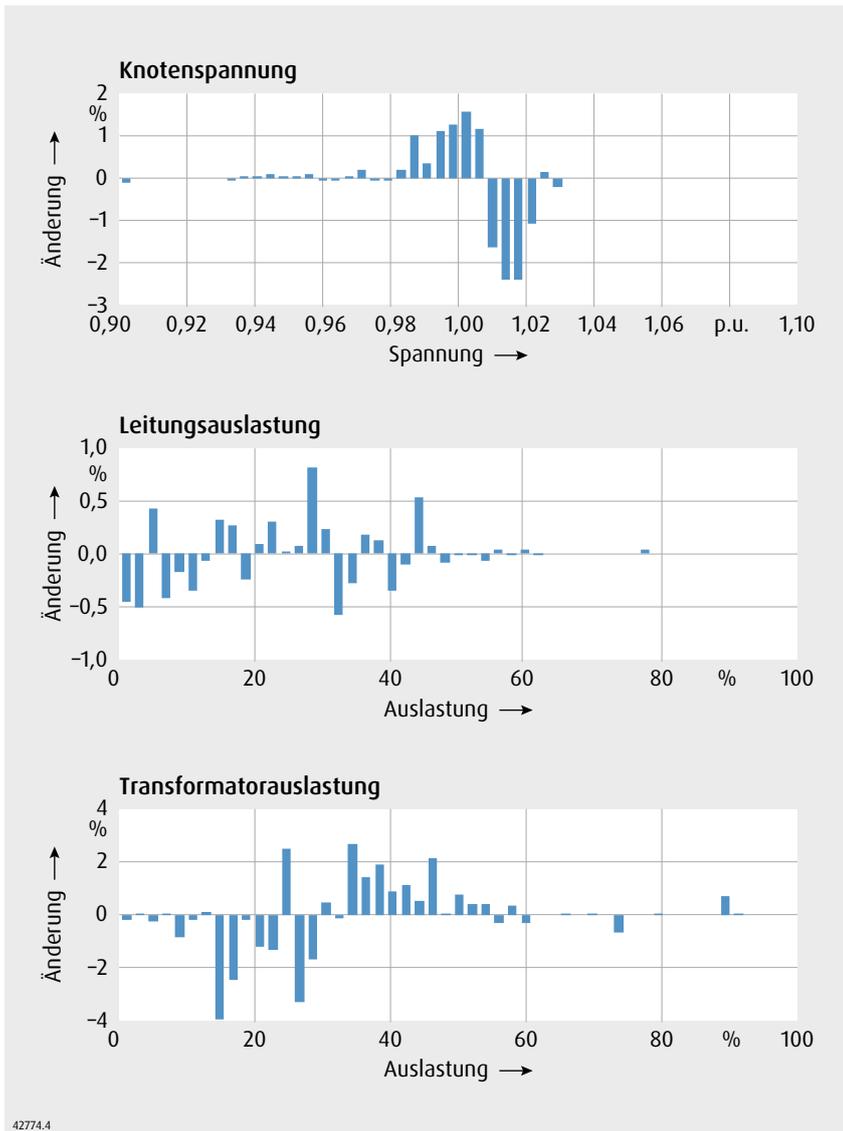


Bild 4. Auslastungs- und Spannungsänderungen im Zielnetz der Variante 2 gegenüber dem Istnetz

überstellung des aktuellen Netzzustands mit einer erzeugten Zielnetzvariante, in der ausgewählte Ortsnetzstationen stillgelegt sind. Bei jeder Zielnetzvariante (mit unterschiedlicher Stationszahl) werden die Ergebnisse derselben Netzelemente bezüglich Grenzwertverletzungen verglichen. Eine Zielnetzvariante wird als zulässig erachtet, wenn gegenüber dem Istzustand keine weiteren Grenzwertverletzungen auftreten. Falls beim aktuellen Netzzustand und bei einer Zielnetzvariante am selben Objekt eine Grenzwertverletzung vorliegt, wird dieser Wert für die Lösungsfindung ignoriert.

Ergebnisse der Variante 2

Anhand des beschriebenen Verfahrens wurde für die Variante 2 ein Zielnetz er-

mittelt, das rechnerisch im Normal- sowie im Störfall bei heutiger Spitzenlastsituation alle erwähnten Bedingungen zur Spannungshaltung und Betriebsmittelauslastung (thermische Auslastung) erfüllt. Bei Umsetzung des Zielnetzes können insgesamt 23 von den ausgewählten 70 möglichen Netzstationen zurückgebaut werden. Dies entspricht einer Rückbauquote der Netzstationen von 8 %. Bleibt der Störfall bei der Zielnetzplanung unberücksichtigt, könnten sogar 61 Netzstationen ohne eine Verschlechterung der Netzqualität abgeschaltet werden. In Bild 2 sind weitere Zwischenergebnisse der Zielnetzuntersuchung der Variante 2 dargestellt. Die einzelnen Iterationsschritte geben dabei an, wie viele Netzstationen zurückgebaut werden müssen, um die angegebenen Be-

dingungen bezüglich Transformator- und Leitungsauslastung sowie Spannungshaltung im Normal- und Störfall zu erfüllen. Bild 2 zeigt, dass die Beherrschung der Betriebsbedingungen im Störfall deutlich mehr Stationen erfordert als im Normalbetrieb.

Die Auswertung der Lastflussberechnung und eine Gegenüberstellung mit dem aktuellen Versorgungsnetz zeigen für die Zielnetzvariante eine leicht gestiegene Betriebsmittelauslastung sowie geringere Knotenspannungen. Am Beispiel der Leitungsauslastungen, die im Niederspannungsnetz für die Zielnetzvariante 2 ermittelt worden sind (Bild 3), ist zu erkennen, dass auch nach Stilllegung von 23 Netzstationen Kapazitätsreserven vorhanden sind. Rund 97 % aller NS-Leitungsstrecken haben eine thermische Auslastung < 40 %. Alle Leitungsüberlastungen, die in der Zielnetzvariante 2 bestehen, sind auch im Istzustand vorhanden.

Die Hauptgründe für die Auslastungs- und Spannungsverschiebungen sind veränderte Lastverteilungen und längere Versorgungsstrecken, die durch den Wegfall der 23 Netzstationen entstanden sind. Die durchschnittliche Änderungsrate gegenüber dem aktuellen Netzzustand beträgt für

- Knotenspannungen $-0,0016$ p.u. (Veränderung gegenüber Nennspannung)
- Leitungsauslastungen $+0,39$ %
- Transformatorauslastungen $+2,86$ %.

Die Untersuchung der Netzverluste zeigt, dass lastabhängige Leitungs- und Transformatorverluste aufgrund der höheren Belastung minimal steigen. Mit den geringeren Leerlaufverlusten können diese jedoch komplett kompensiert werden. Bild 4 zeigt detaillierte Veränderungen (prozentuale Schwankungen) der wichtigsten Lastflussergebnisse.

Fazit und Empfehlungen

Die abgeschlossenen Zielnetzuntersuchungen zeigen, dass im Versorgungsgebiet der Stadtwerke Dinslaken bei der augenblicklichen Belastungssituation nahezu 8 % der Ortsnetzstationen (23 Stationen) zurückgebaut und deren Teilnetze auf das umliegende Netzgebiet verteilt werden können, ohne dass sich Versorgungsqualität und -sicherheit verschlechtern. Die geringer werdenden Leerlaufverluste überkompensieren sogar die ansteigenden Kupferverluste, was insgesamt zu einer Verringerung der Gesamtverluste im Netz führt. Das

Kosteneinsparpotenzial für 23 Netzstationen liegt bei 0,2 bis 0,5 Mio. €. Einsparungen durch vermiedene Instandhaltungskosten sind hierbei nicht eingerechnet. Die Höhe der tatsächlich eingesparten Betriebs- und Investitionskosten ist nur durch detaillierte projektbezogene Untersuchungen zu quantifizieren.

Eine weitere Erkenntnis aus der automatisierten Zielnetzermittlung ist der maßgebliche Einfluss der Störfallkompensation auf die Ermittlung der Rückbaupotenziale. Können im Normalzustand 62 Ortsnetzstationen zurückgebaut werden, sind es nach abgeschlossener Störfallanalyse nur noch 23 Netzstationen. Dies zeigt, dass die Erfüllung des $(n - 1)$ -Kriteriums in der Stromversorgung spürbare Zusatzkosten erfordert. Bei Aufhebung der Strahlennetzbedingung durch Vermaschung, die bei der vorliegenden

Untersuchung im Störfall auf die jeweils betroffenen Netzbereichen angewendet wird, könnten weitere Stationen stillgelegt werden.

Die durchgeführte Zielnetzuntersuchung ist nur bei der augenblicklichen Lastsituation gültig, die dadurch geprägt ist, dass das städtische NS- und das MS-Netz noch hohe Reserven haben. Sollte sich die Belastungssituation durch einen weiteren Anstieg der Belastungen – zum Beispiel durch zusätzliche Stromwärmepumpen oder eine veränderte Einspeisesituation durch stromerzeugende Heizungen sowie einen weiteren Ausbau von PV-Anlagen – ändern, sind weitere Zielnetzberechnungen notwendig. Die Untersuchung zeigt, dass durch die Verfügbarkeit eines aktuellen Netzberechnungsmodells zielgerichtet Einsparpotenziale oder Engpässe in den Stromnetzen festgestellt werden können.

>> Dr. **Dirk König**,
Abteilungsleiter,
Rechenzentrum für Versorgungsnetze
Wehr GmbH, Düsseldorf

Denis Bekasow,
Projektingenieur,
Rechenzentrum für Versorgungsnetze
Wehr GmbH, Düsseldorf

Michael Hörsken,
Hauptabteilungsleiter Technik,
Stadtwerke Dinslaken GmbH, Dinslaken

Markus Böing,
Abteilungsleiter Strom,
Stadtwerke Dinslaken GmbH, Dinslaken

>> d.koenig@rzvn.de
bekasow@rzvn.de
m.hoersken@stadtwerke-dinslaken.de
m.boeing@stadtwerke-dinslaken.de

>> www.rzvn.de
www.stadtwerke-dinslaken.de