

netzpraxis

Magazin für Energieversorgung – Planung • Bau • Betrieb • Service

Sonderdruck (Nr. 18380) aus 2019 (Jg. 58), Heft 9, S. 20-23

Netzoptimierung

Optimale Auftrennung eines vermaschten Niederspannungsnetzes zur Erfüllung der VDE-AR-N 4140

Um die operativen Anforderungen der VDE-Anwendungsregel »Kaskade« (VDE-AR-N 4140) hinsichtlich einer gezielten Lastreduktion umzusetzen, wurde ein neues Optimierungsverfahren zur Auftrennung des bisher vollständig vermaschten Niederspannungsnetzes der Stadtwerke Rensburg entwickelt. Das mit der Methode des niedrigsten Baums ermittelte Zielnetz mit 41 Niederspannungsinseln erfüllt rechnerisch im Stark- sowie Schwachlastfall die festgelegten Bedingungen zur Spannungshaltung und Betriebsmittelauslastung und ermöglicht einen gezielten und diskriminierungsfreien Lastabwurf.

Gemäß der VDE-Anwendungsregel »Kaskade« [1] müssen vom jeweiligen Netzbetreiber Anpassungsmaßnahmen im eigenen Netz durchgeführt bzw. in nachgelagerten Netzen veranlasst werden, wenn eine Gefährdung oder Störung des Elektrizitätsversorgungssystems durch netz- oder marktbezogene Maßnahmen nicht oder nicht rechtzeitig beseitigt wird. Die Lastreduzierung ist dabei eine der wichtigsten Anpassungsmaßnahmen zur Beseitigung des Netzengpasses, des bilanziellen Ungleichgewichtes und der Verletzung von Spannungsbändern. Um eine Lastreduzierung gezielt und rechtzeitig umsetzen zu können, ist eine baumförmige Netztopologie erforderlich. Damit kann die Lastreduzierung durch das Ausschalten im vorgelagerten Netz einfacher und schneller durchgeführt werden. Darüber hinaus kann die abzuwerfen-

de Leistung vor der Umsetzung der Lastreduzierung genauer prognostiziert werden.

Das Niederspannungsnetz der Stadtwerke Rensburg GmbH (SWR) ist zurzeit fast vollständig vermascht.

Wegen der Vermaschung des NS-Netzes ist eine Lastreduzierung auf der Mittelspannungsebene unmöglich, d. h., man müsste mehrere Schalter auf der Niederspannungsebene ausschalten, um eine Lastreduzierung



Dr.-Ing. **Tao Mu** (L), Projektingenieur, und Dr. **Piet Hensel**, (M.) Geschäftsführer, Rechenzentrum für Versorgungsnetze Wehr GmbH, Düsseldorf; **Karsten Jungjohann**, Asset-Management, Stadtwerke Rensburg GmbH, Rensburg

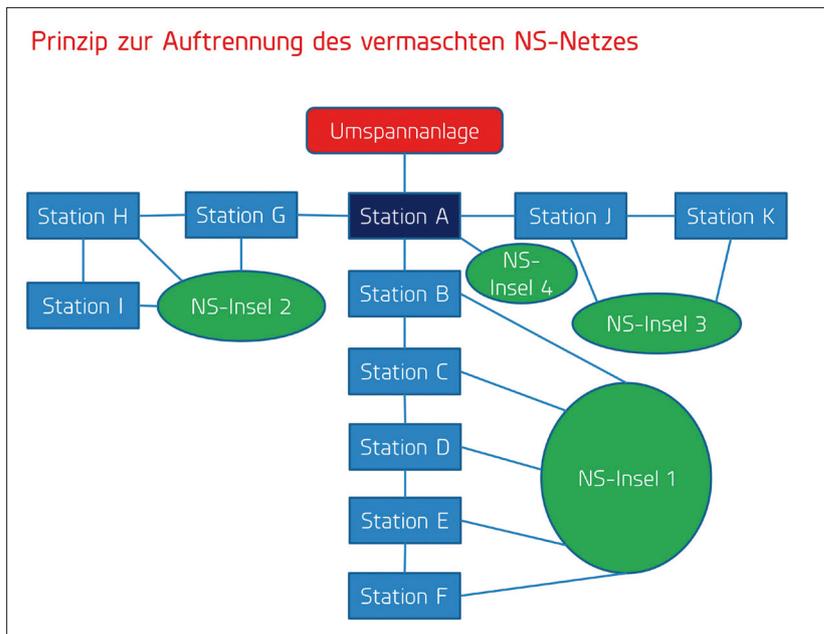


Bild 1. Prinzip zur Auftrennung des vermaschten NS-Netzes

zu implementieren. Normalerweise sind die Schalter auf der Niederspannungsebene nicht fernschaltbar, weshalb eine ausreichend schnelle Abschaltung nicht gewährleistet werden kann. Darüber hinaus wird der Lastfluss während und nach den Schalthandlungen relativ stark

geändert, sodass die Netzsicherheit (Betriebsmittelauslastung, Spannungshaltung) eingeschränkt sein kann. Eine gezielte und ausreichende Leistungsreduzierung im vermaschten NS-Netz ist somit nicht praktikabel umsetzbar. Eine Auftrennung des derzeit vermaschten

NS-Netzes der SWR ist daher notwendig.

Prinzip zur Auftrennung des vermaschten NS-Netzes

Das Ziel der Auftrennung ist, das vermaschte NS-Netz in viele Leitungsinselformen zu teilen, die auf der Niederspannungsebene voneinander getrennt sind. Auf der Mittelspannungsebene wird jede Insel durch eine oder mehrere Ortsnetzstationen versorgt, die zu einem MS-Abgang gehören. Damit können alle Lasten einer Insel durch das Ausschalten des Schalters am Anfang des Abgangs abgeworfen werden. Das Prinzip wird in Bild 1 beispielhaft veranschaulicht.

Da die Stadtwerke Rendsburg kein Schaltrecht an der Umspannanlage haben, werden die Inseln ausgehend von den sog. Schwerpunkstationen (z. B. Station A in der Bild 1) gebildet, die direkt mit einer Umspannanlage verbunden sind. Die Schwerpunkstation A hat drei Abgänge. Deswegen werden drei Inseln (NS-Insel 1 bis 3) abgangsseitig gebildet. Wenn an der Station A ein Transformator oder mehrere Transformatoren zur Verfügung stehen, soll die Station A eine

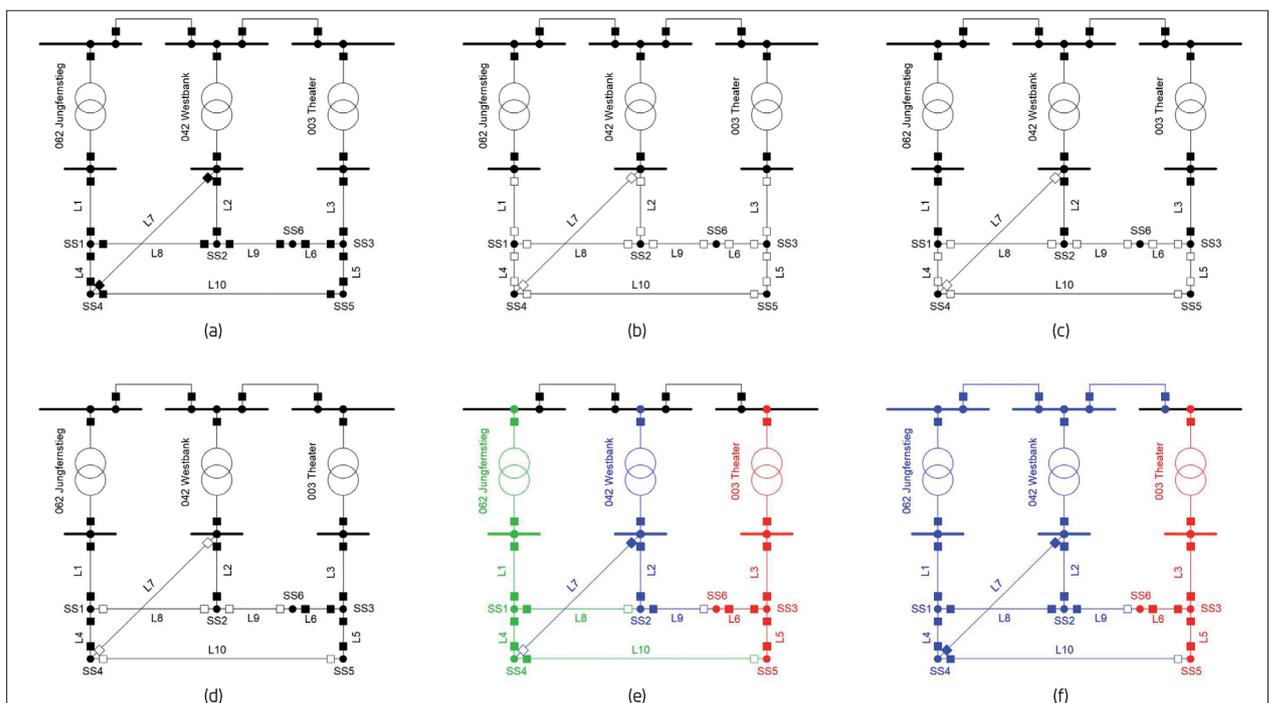


Bild 2. Beispiel der optimalen topologischen Auftrennung

eigene NS-Insel (NS-Insel 4) versorgen.

Optimierungsverfahren der Auftrennung des NS-Netzes

Das Verfahren zur Auftrennung des vermaschten NS-Netzes basiert auf einem neu entwickelten zweiphasigen Optimierungsprozess, und zwar »optimale topologische Auftrennung« und »Trennstellenoptimierung unter Last«.

In der ersten Phase wird zuerst ein rein radiales NS-Netz erstellt, basierend auf der Methode des niedrigsten Baums. Bei dem Verfahren des niedrigsten Baums werden als Erstes alle Schalter der Leitungen im NS-Netz ausgeschaltet. Dann werden die niedrigsten Bäume durch Einschalten ausgewählter Schalter erstellt. Das Kriterium für die Auswahl der einzuschaltenden Schalter ist die Entfernung der Niederspannungssammelschiene (Kabelverteilerschrank) zur Ortsnetzstation. Alle Unterspannungsseiten der Transformatoren von Ortsnetzstationen sind die Baumwurzeln. Nach der Erstellung des radialen NS-Netzes werden die Leitungsinselformen entsprechend der Definition von Abgängen gebildet. Das heißt, dass alle Schalter innerhalb eines Abgangs eingeschaltet werden. Um die topologische Gültigkeit des gebildeten Inseln-Netzes zu beweisen, wird die Angehörigkeit der Leitungen im NS-Netz überprüft. Jede Leitung muss und darf nur zu einer Insel gehören. Das mit diesem Verfahren ermittelte Inseln-Netz weist wegen der kurzen Entfernung zur Ortsnetzstation einen geringeren Spannungsabfall auf.

In Bild 2 wird ein Beispiel der optimalen topologischen Auftrennung dargestellt. Anhand des oben vorgestellten Verfahrens werden zuerst alle Schalter der Leitungen im NS-Netz ausgeschaltet (Bild 2 [b]). Dann werden die Leitungen L1, L2 und L3 eingeschaltet, weil sie die kurzen Weg von Ortsnetzstation zur Kabelverteilerschranke SS1, SS2 und SS3 sind (Bild 2 [c]). Für Kabelverteilerschrank SS4 wird die Leitung L4 eingeschaltet, weil die Gesamtlänge von Leitungen L1 und L4 geringer als die Leitungslänge von der Leitung L7 ist, obwohl die Leitung L7 ein direkter Weg zu einer Ortsnetzstation ist. Gemäß gleichem Prinzip werden L5

Spannungsebene	Netzvariante	Knoten-spannung [p.u.]		Leitungs-auslastung [%]		Trafo-auslastung [%]	
		min.	max.	min.	max.	min.	max.
Mittelspannung	Ist-Netz	1,00	1,04	0,0	54,4	0,2	52,2
	Inseln-Netz	1,00	1,04	0,0	54,5	0,2	78,6
Niederspannung	Ist-Netz	0,95	1,04	0,0	89,2		
	Inseln-Netz	0,93	1,04	0,0	92,2		

Tafel 1. Gegenüberstellung der Ist- und Inseln-Netze im Starklastfall: Extremwerte der Lastflussberechnung

Spannungsebene	Netzvariante	Knoten-spannung [p.u.]		Leitungs-auslastung [%]		Trafo-auslastung [%]	
		min.	max.	min.	max.	min.	max.
Mittelspannung	Ist-Netz	1,02	1,05	0,0	48,0	0,2	52,2
	Inseln-Netz	1,02	1,05	0,0	48,0	0,2	56,7
Niederspannung	Ist-Netz	0,98	1,08	0,0	75,8		
	Inseln-Netz	0,98	1,07	0,0	85,8		

Tafel 2. Gegenüberstellung der Ist- und Inseln-Netze im Schwachlastfall: Extremwerte der Lastflussberechnung

und L6 eingeschaltet (Bild 2 [d]). Jetzt sind alle Kabelverteilerschränke schon angeschlossen. Dann werden die verbleibenden Leitungen L7, L8, L9 und L10 einseitig angeschlossen. Der Schalter, der bei der Ortsnetzstation näher ist, wird eingeschaltet. Bisher wurde ein rein radiales NS-Netz erstellt (Bild 2 [e]). Danach können die Inseln einfach gebildet werden. Bei diesem Beispiel sind die zwei offenen Schalter der Leitungen L7 und L8 einzuschalten, weil die Stationen Westbank und Jungfernstieg zu einem Abgang gehören. Damit wurden zwei Inseln gebildet (Bild 2 [f]).

In der zweiten Phase werden die Trennstellen des Inseln-Netzes unter Last iterativ optimiert. Durch Lastflussberechnungen werden die Grenzwertverletzungen (Betriebsmittelüberlastungen oder unzulässige Spannungsabweichungen) lokalisiert. Danach wird die Grenzwertverletzung durch die Anpassung der Schalterstellung beseitigt. Wenn beispielsweise die Spannung einer Sammelschiene zu hoch ist, wird die Sammelschiene auf die benachbarte Insel mit niedrigerer Spannung verlagert. Während der Trennstellenoptimierung werden die beiden Lastfälle Starklast und Schwachlast berücksichtigt.

Der oben beschriebene Optimierungsprozess ist nochmals in der Bild 3 dargestellt.

Ergebnisse der optimalen Auftrennung

Anhand des oben vorgestellten zweiphasigen Optimierungsverfahrens wurde ein optimales Inseln-Netz ermittelt, das rechnerisch im Stark- sowie Schwachlastfall die festgelegten Bedingungen zur Spannungshaltung und Betriebsmittelauslastung erfüllt. Dieses Inseln-Netz besteht auf der Niederspannungsebene aus 41 vermaschten Leitungsinselformen, die voneinander getrennt sind. Bild 4 zeigt eine Gesamtübersicht der Auftrennung des NS-Netzes.

In diesem Inseln-Netz beträgt die maximale Entfernung von einer Sammelschiene (Kabelverteilerschrank) zur topologisch nächsten Ortsnetzstation rd. 800 m. Um die ermittelte optimale Auftrennung des vermaschten NS-Netzes zu implementieren, sind insgesamt 260 Leitungsschalter zu öffnen und 14 Leitungsschalter zu schließen.

Zur Beurteilung des ermittelten Zielnetzes wurden die Ergebnisse des Inseln-Netzes mit dem Ist-Netz verglichen und gegenübergestellt. In Tafel 1 wurden die jeweiligen Extremwerte

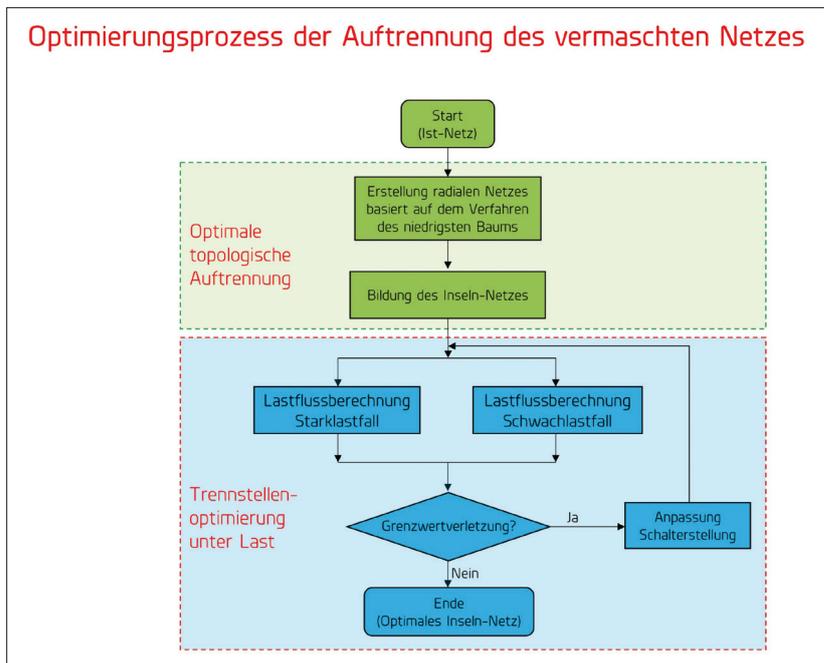


Bild 3. Optimierungsprozess der Auftrennung des vermaschten Netzes



Bild 4. Leitungsinseln im NS-Netz

für die Mittel- und Niederspannungsnetze im Starklastfall zusammengefasst.

Die Auswertung der Lastflussberechnung für den Starklastfall zeigt, dass durch die Auftrennung des vermaschten NS-Netzes

- keine Grenzwertverletzung im Mittel- sowie Niederspannungsnetz auftreten,

- die Knotenspannungen und Leitungsauslastungen sich nur sehr geringfügig verändern und
- die maximale Trafoauslastung sich von 52,2 auf 78,6 % erhöht.

Auch die Auswertung der Lastflussberechnung für den Schwachlastfall zeigt, dass sich durch die Bildung des Inseln-Netzes nur geringfügige Ver-

änderungen zum Ist-Netz ergeben (Tafel 2).

Fazit

Um die Anforderung der VDE-Anwendungsregel »Kaskade« zu erfüllen, wurde eine Zielnetzplanung zur optimalen Auftrennung des NS-Netzes der SWR durchgeführt. Anhand eines zweiphasigen Optimierungsverfahrens wurde ein optimales Inseln-Netz ermittelt. Dieses Inseln-Netz besteht auf der Niederspannungsebene aus 41 vermaschten Leitungsinseln, die voneinander getrennt sind. In diesem Inseln-Netz beträgt die maximale Entfernung von einer Sammelschiene (Kabelverteilerschrank) zur topologisch nächsten Ortsnetzstation rd. 800 m. Aufgrund der relativ geringen Entfernungen zur Ortsnetzstation gestaltet sich die Spannungshaltung am Ende der Abgänge einfacher. Zur Beurteilung des ermittelten Zielnetzes wurden die Ergebnisse des Inseln-Netzes mit dem Ist-Netz verglichen und gegenübergestellt. Die Auswertung der Berechnungen zeigt, dass sich durch die Bildung des Inseln-Netzes nur geringfügige Veränderungen zum Ist-Netz ergeben. Grundsätzlich ist festzustellen, dass das durch die optimale Auftrennung des NS-Netzes ermittelte Zielnetz die wesentliche Anforderung der operativen Kaskade vollständig erfüllt.

Literatur

- [1] VDE-AR-N 4140 Anwendungsregel:2017-02, Kaskadierung von Maßnahmen für die Systemicherheit von elektrischen Energieversorgungsnetzen.

mu@rzvn.de

www.rzvn.de

www.stadtwerke-rendsburg.de