

# Optimierung von Mittelspannungsnetzen regionaler Energieversorger

Torsten Haase, Harald Weber

## Einleitung

Die 20-kV-Ebene ist die typische Verteilungsebene von Elektroenergie in Mecklenburg-Vorpommern für alle Kundengruppen, woraus sich die Bedeutung dieser Spannungsebene ergibt. Mecklenburg-Vorpommern ist ein dünn besiedeltes, wenig industrialisiertes aber weiträumiges Land. Daraus ergibt sich eine kostenintensive Energieversorgung, da die Energie über grössere Entfernungen übertragen werden muss. Dabei ist die Versorgung mit elektrischer Energie für die Energieversorgungsunternehmen sehr ertragsarm, weil es nur wenige Industrie- und Haushaltskunden im Land gibt. Trotz dieser schlechten Randbedingungen müssen die Energieversorgungsunternehmen hohe Investitionen tätigen, um eine sichere Energieversorgung modernen Standards zu gewähren. Dabei sind die 20-kV-Netze in der Regel historisch gewachsen und oft nicht anhand eines durchgängigen Konzeptes gestaltet worden. Durch die sich daraus ergebende unübersichtliche Leitungsführung und die daraus resultierend hohen Netzverluste sind die 20-kV-Netze unwirtschaftlich. Aus diesen Gründen werden Studien zur Optimierung dieser Netze erstellt. Das hier betrachtete 20-kV-Netz des Betriebsbereichs Waren der ehemaligen EMO AG Neubrandenburg (jetzt e.dis Energienord AG) wurde bezüglich seiner Netztopologie optimiert. Dabei handelt es sich um die Umspannwerke Waren, Röbel und Neustrelitz mit einer gemessenen Spitzenlast von etwa 50 MW. Um eine Ideal-Netztopologie für den Betriebsbereich Waren zu entwerfen, wurden von der EMO AG alle nötigen wie Daten wie Nennleistungen und Kalkulationspreise der Betriebsmittel sowie die Jahresverbräuche der Sonder- und Tarifkunden zur Verfügung gestellt. Das bestehende 20-kV-Netz im Versorgungsgebiet sollte kein Ausgangspunkt sein, da es sich um eine Neuplanung und keine Ausbauplanung des Netzes handelt. Eine übersichtliche Betriebsführung des Netzes und geringe Kosten für den Netzbetrieb sind die Ziele der Optimierung. Technische Forderungen wie (n-1)-Ausfallsicherheit für alle Betriebsmittel, Netzform, geringe Netzverluste und Kurzschlussfestigkeit der Betriebsmittel und Netzschutz müssen neben ökonomischen Forderungen wie minimalen Kosten für Investition und Instandhaltung beachtet werden. Der gewählte Lösungsalgorithmus der Optimierung lehnt sich an bereits vorhandenen Vorgehensweisen beim Netzentwurf an.

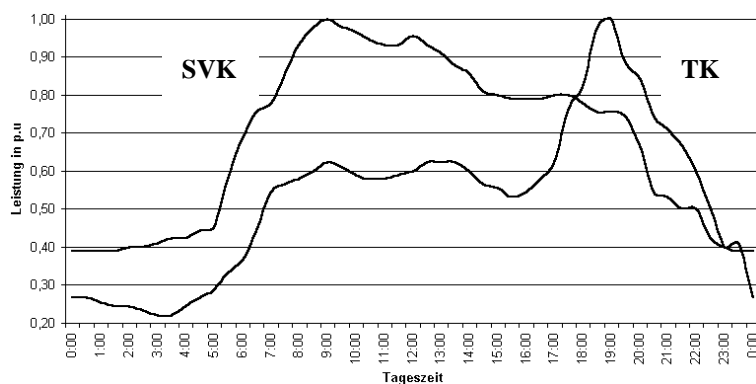
## Tagesganglinien

Vorteilhaft für das Erstellen eines genauen Lastprofils für ein Versorgungsgebiet ist es, wenn für jeden Verbraucher ein individueller Tagesgang bekannt ist. Dann ist es möglich, aus den Tagesgängen die höchste und niedrigste Belastung der Betriebsmittel in Abhängigkeit der Jahres- und Tageszeit zu ermitteln. In Ermangelung dessen wurden jeweils für Tarifkunden (TK) und Sondervertragskunden (SVK) typische auf die Höchstlast bezogene Gänge verwendet, die in Bild 1 zu sehen sind. Dabei handelt es sich allerdings um sehr allgemeine und genäherte Tagesgänge. [1]

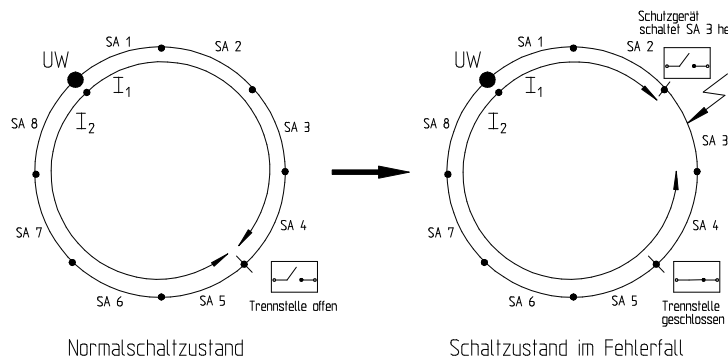
## Netzform

Für das Versorgungsgebiet bietet sich eine Kombination von Ring- und Strahlennetz an, um den Netzbetrieb übersichtlich zu gestalten und die geographischen Besonderheiten zu beachten. Häufig werden Ringnetze bei Normalbetrieb in der Mitte geöffnet, so dass zwei Strahlen entstehen. Im Fehlerfall wird die Trennstelle geschlossen und der fehlerbehaftete Abschnitt selektiv abgeschaltet. Diese Form der Bau- und Betriebsweise heisst „offen betriebenes Ringnetz“, das in Bild 2 dargestellt ist. Die wichtigsten Vorteile sind die Übersichtlichkeit in der Betriebsführung, die zuverlässige Fehlererkennung mit preiswerten Schutzeinrichtungen und die schnelle Umschaltung im Fehlerfall. Nachteilig bei dieser Netzform ist der relativ hohe Spannungsabfall für die letzten Verbraucher und die geringe Versorgungssicherheit.

## Leitungstrassierung



**Bild 1:** Tagesganglinien an einem Dezembertag

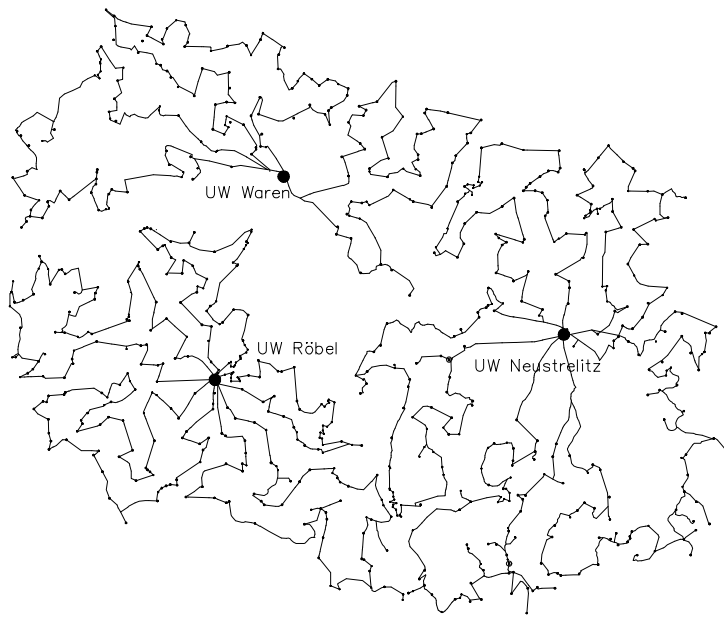


**Bild 2:** Offen betriebenes Ringnetz

spinne dient dazu, das Versorgungsgebiet des Umspannwerks in Kreissektoren einzuteilen. Jeder Kreissektor schliesst einen Winkel von 20 Grad ein. Mit Hilfe der Kreissektoren findet man die Trafostationen heraus, die in einer Himmelsrichtung vom Umspannwerk liegen. Dadurch wird erreicht, dass eine genau definierte Anzahl von Stationen leitungsminimal versorgt werden können. Als eine Randbedingung für die Anzahl der Ringe pro Umspannwerk wird die Gesamtanzahl der Stationen in dem Einzugsgebiet angenommen. Ein Ring soll idealer-

Der zulässige Spannungsabfall und die (n-1)-Sicherheit bilden die Grundlage für die Gestaltung und Berechnung der Ringe. Die geographischen Positionen der 20-kV-Stationen und der Umspannwerke wurden mit Hilfe des massstäblichen geographischen Lageplans (AutoCAD) des Versorgungsgebietes ermittelt. Die Zuordnung der Trafostationen zu den Umspannwerken erfolgte nach dem Kriterium des geringsten Abstandes der Trafostation zum Umspannwerk per Luftlinie. Die Zuordnung lässt sich mit Hilfe der Konstruktion der Mittelsenkrechten geometrisch erreichen. Topographische Besonderheiten wie Seen und Wälder, die das Versorgungsgebiet in hohem Masse kennzeichnen, werden dabei vorerst nicht berücksichtigt. Für jedes Umspannwerk wird eine Netzspinne gezeichnet. Eine Netz-

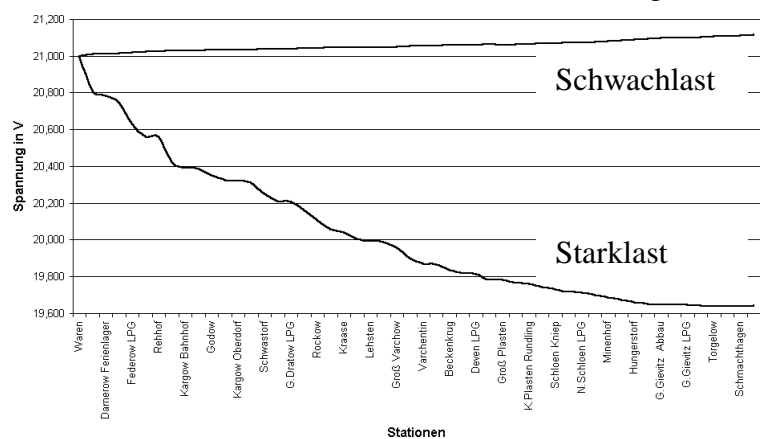
weise aus maximal acht Schutzabschnitten mit jeweils maximal acht Stationen bestehen. Das heisst, dass es pro Ring nicht mehr als 64 Stationen gibt. Die Kreissektoren werden so zusammengefasst, dass man  $n$  endgültige Sektoren (abhängig von der Gesamtanzahl der zu versorgenden Trafostationen) bekommt, in denen die leitungsminimalen Ringe berechnet werden können. Die vorher bestimmten Knotenleistungen der Trafostationen in diesen Sektoren sind eine zweite wichtige Randbedingung. Die minimale Leitungslänge wurde dann mit MATLAB bestimmt, da dieses Programm den Algorithmus des sogenannten „Travelling Salesman Problems“ (Wegoptimierung) benutzt.



**Bild 3:** Leitungsminmales Netz im Versorgungsgebiet

## Netzberechnung

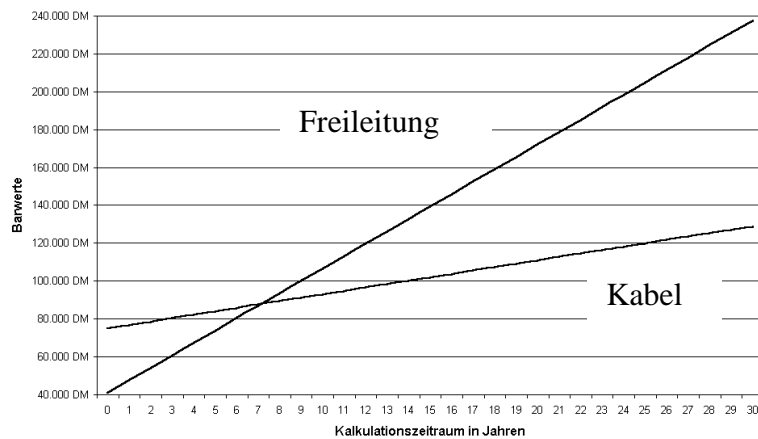
Das Spannungsprofil des Ringes wird im  $(n-1)$ -Fall mit Hilfe von Lastflussrechnungen mit DIGSILENT für die maximale (Starklast) und minimale Ringbelastung (Schwachlast) untersucht. Dabei müssen die zulässigen Betriebsspannungen in der 20-kV-Ebene eingehalten werden. Die  $(n-1)$ -Ausfallsimulation, in Bild 4 für einen Ring dargestellt, wird allerdings auf die beiden schlimmsten Fälle beschränkt, das heisst, der Ausfall der Leitung vom Umspannwerk zur ersten Trafostation zu beiden Seiten. Wenn die  $(n-1)$ -Sicherheit nicht gewährleistet werden kann, ist dieser geplante Ring technisch nicht realisierbar, weil die Bestimmungen über die Spannungshaltung und Versorgungszuverlässigkeit nicht eingehalten werden können. Ist die  $(n-1)$ -Sicherheit im Ring gewährleistet, muss ein Trennstelle gefunden werden, wo der Netzbetrieb verlustminimal ist. Die Legung der Trennstelle ist allerdings von einer Reihe betrieblicher Erwägungen abhängig wie Erreichbarkeit und Zugänglichkeit der Station, Netzstruktur, Zustand der Schaltgeräte und Optimierung der Fehlereingren-



**Bild 4:** Ausfallsimulation für Stark- und Schwachlast

zung. Die Ermittlung der dreipoligen Kurzschlussströme stellt bei der Projektierung von Netzanlagen eine weitere Aufgabe dar, weil diese Ströme zu den stärksten Beanspruchungen der Betriebsmittel führen. Die maximalen Kurzschlussströme dienen zur Dimensionierung der Betriebsmittel. Sie sind ein Mass für die thermische und mechanische Beanspruchung der Betriebsmittel. Die minimalen Kurzschlussströme dienen zur Dimensionierung der Netzschutzgeräte. Die Leistungsschalter in den Stationen müssen so dimensioniert werden, dass sie den maximalen Anfangs-Kurzschluss-Wechselstrom ausschalten können. Ein fundamentales Schutzprinzip beruht auf der Erkennung von Überströmen. Der UMZ-Schutz wird in Ringnetzen mit Richtungsglied ausgeführt, das dazu dient, dass der Schutz nur in eine bestimmte Stromrichtung freigegeben ist. Die Auslösezeit des Schutzes wird zur Einspeisung hin erhöht und liegt in der Regel zwischen 0,3s bis 0,5s. Dieser so gestaltete Überstromschutz führt jedoch dazu, dass die besonders hohen Kurzschlussströme im Einspeisebereich am längsten stehen bleiben. Die Schutzrelais mit der höheren Auslösezeit stellen eine Reservefunktion für die nachgeschalteten Netzelemente dar.

## Kostenrechnung



**Bild 5:** Barwerte von Betriebsmitteln

In Bild 5 ist eine Barwertrechnung für ein 20-kV-Kabel und eine 20-kV-Freileitung mit EXCEL zu sehen. Dabei wurde eine Leitungslänge von 1km, ein Zinssatz von 3% und ein Zeitraum von 30 Jahren zu Grunde gelegt. Am Anfang ist die Freileitung billiger als das Kabel. Doch bereits nach 7 Jahren haben beide Betriebsmittel den gleichen Barwert. Am Ende der Nutzung ist der Barwert der Freileitung fast doppelt so gross wie der des Kabels.

## Literatur

- [1] Hosemann, G., Universität Erlangen-Nürnberg  
HÜTTE, Elektrische Energietechnik, Band 3 Netze, Springer-Verlag Berlin, 1988

## Verfasser

Dipl.-Ing. Torsten Haase, Prof. Dr.-Ing. Harald Weber  
Universität Rostock, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik  
Institut für Elektrische Energietechnik  
18051 Rostock

e-mail: torsten.haase@etechnik.uni-rostock.de      harald.weber@etechnik.uni-rostock.de