

Zur Frage der Identifikation und Bewertung von Investitionsoptionen in Mittelspannungs-Kabelnetzen

Assessment of possible Investments in Medium-Voltage Cable Grids

Hetzel, S.; Schufft, W.; Technische Universität Chemnitz, Deutschland, steffen.hetzel@etit.tu-chemnitz.de

Kurzfassung

Kernaufgabe von Verteilnetzbetreibern ist die Frage nach optimierten Investitionsstrategien. Im Folgenden wird ein mögliches Vorgehen zur Identifikation und Bewertung von alternativen Investitionsstrategien vorgestellt. Basis ist die umfassende Analyse des vorhandenen Betriebsmittelbestandes. Zur Bearbeitung der Fragestellung ist eine Software entwickelt worden, mit der Mittelspannungs-Kabelnetze umfassend analysiert werden können. Dargestellt werden mögliche Bewertungskriterien, anhand derer Investitionsalternativen identifiziert werden können. Die entwickelte Software ermöglicht weiterhin die Bewertung künftiger Netzstrukturen.

Abstract

Each operator of energy distribution grids aims for optimised investment strategies. Below, an approach to identify and evaluate alternative investment possibilities in an existing medium voltage distribution grid will be presented. In detail technical aspects and the grid topology will be taken into account. A software has been generated which illustrates probable critical or over aged cable resources within a medium-voltage cable grid. Simultaneously, an optimised grid structure becomes quantifiable.

1 Problemstellung

Verteilnetzbetreiber sind zu einem sicheren, preisgünstigen sowie effizienten Betrieb der vorhandenen Mittelspannungsnetze verpflichtet. Eine resultierende Herausforderung ist die Entwicklung langfristig wirksamer Strategien und Vorgehensweisen zur optimalen Platzierung von Investitionen im Mittelspannungs-Kabelnetz. Die Kernaufgabe besteht in einem nachhaltigen Einsatz des vorhandenen Investitionsbudgets unter Berücksichtigung von Umfeldbedingungen und Erfahrungswerten. Die detaillierte Kenntnis der vorhandenen Mittelspannungskabel sowie -freileitungen und deren Zusammensetzung bildet dazu die Grundlage. Aktuell fehlen praxisnahe Ansätze zur systematischen Bewertung möglicher Investitionsalternativen. Der folgende Artikel zeigt eine Vorgehensweise, die Entscheidungsträgern eine fundierte Planung von Investitionen ermöglicht.

2 Vorüberlegung und Vorgehen

Eine für die Identifikation und Bewertung von Investitionsoptionen geeignete Vorgehensweise ist in **Abbildung 1** dargestellt. Voraussetzung ist die vollständige Erfas-



Abbildung 1 - Vorgehensweise

sung des Betriebsmittelbestandes. Dieser ist für ein reales Netz in **Abbildung 2** dargestellt.

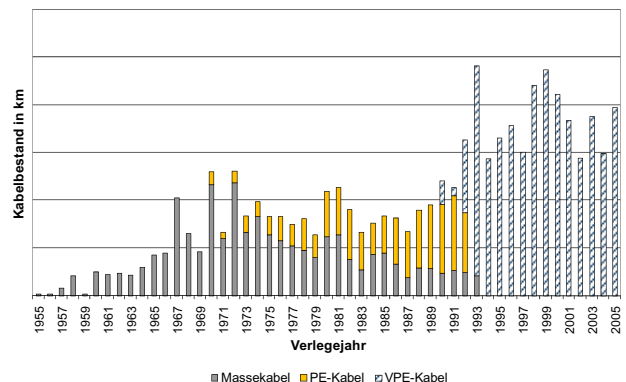


Abbildung 2 – Struktur eines Beispielnetzes (2006)

Hierbei sind verschiedene Parameter als relevant zu betrachten [1]. Weitere Anforderungen ergeben sich aus der Netzstruktur. Eine ausführliche Beschreibung findet sich in [2]. Netzstrukturdaten sind den einzelnen Betriebsmitteln direkt zuzuordnen. Um die Anwendbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse sicherzustellen, werden reale Netze betrachtet. Diese weisen Besonderheiten in Form historisch gewachsener Bauformen auf.

In der Realität sind vorrangig Ringnetze in verschiedenen Varianten anzutreffen. Dies erschwert die Entwicklung geeigneter Bewertungs- und Kennzahlensysteme. Die Aufnahme der Topologie des Netzes ist neben der reinen Datenaufnahme die Voraussetzung für die Anwendung des Verfahrens. Der vorgeschlagene Ansatz erfordert eine Ausweitung der Betrachtungen auf das zugehörige Freileitungsnetz.

Die Netztopologie bezeichnet im Folgenden Aufbau und Zusammensetzung eines realen Netzes. Ergänzend zu den bereits dargestellten Anforderungen an die Datenbasis sind die folgenden Merkmale zu betrachten:

- Länge der Freileitungsabschnitte
- Aneinanderreihung der Kabel- bzw. Freileitungsabschnitte in der topologisch richtigen Reihenfolge (z.B. bei Kabelstrecken zwischen Stationen, T-Muffen oder Kabelendverschlüssen)
- Berücksichtigung der Stationsdaten (Anzahl angeschlossener Kunden, Bemessungsscheinleistung)
- Funktion der Station (Eingliederung in Schutzbereiche; Station mit Schutzfunktion)
- Berücksichtigung von Knoten, die T-Muffen bzw. -Verteilungen abbilden
- Schematischer Aufbau der Netzstruktur

Das Ergebnis zeigt das Netz in seiner gesamten Struktur.

3 Zielstellung und Umsetzung

Ein solches Bewertungssystem ermöglicht die Zuordnung der als kritisch eingestuft Kabeltypen auf Netzbereichsebene.

Die Definition von Netzbereichen erfolgt auf unterschiedliche Art und Weise, z.B. durch Zuordnung bereits vorhandener Schutzbereiche.

Sind die Ausfallcharakteristika der Betriebsmittel innerhalb des Schutzbereiches bekannt, ist das Ausfallrisiko des gesamten Schutzbereiches berechenbar. Für die im Fehlerfall notwendigen Umschaltungen existieren durch den Netzbetreiber festgelegte Standardzeiten [4]. Dies ermöglicht eine aussagekräftige Abschätzung von Fehlerfolgen. Ergänzend ist die Struktur der Schutzbereiche bezüglich der vorhandenen Betriebsmittel visualisierbar. Als Ergebnis entsteht eine Übersicht der innerhalb des Schutzbereiches eingesetzten Betriebsmittel. Weitere Parameter können ergänzend zugeordnet werden. Ein solches System gibt einen umfassenden Überblick über das aktuell vorhandene und künftig mögliche Netz sowie dessen Struktur. Schwachstellen sind einfach erkennbar. Betrachtete Schutzbereiche des Netzes können verglichen und bewertet werden.

Ein diesen Anforderungen genügendes Bewertungssystem wurde in Kooperation mit einem Verteilnetzbetreiber entwickelt. Im Ergebnis ist die flexible Visualisierung der verschiedenen Faktoren möglich. Ziel war die Entwicklung einer Software, die mittel- und langfristige Investitionsplanungen unterstützt. Die Umsetzung erfolgte in Standardsoftware.

Zur Aufnahme und Anpassung wurden spezifische Unterprogramme entwickelt.

Aktuell wird das System auf verschiedene, real existierende Netze von Netzbetreibern verschiedener Größe angewendet.

4 Erzielte Ergebnisse

Nachfolgend werden Ergebnisse als Bewertungskriterien für den Netzzustand und somit für Investitionsalternativen

zur Diskussion gestellt. Schwerpunkt sind die vorhandenen Mittelspannungskabel. Zum Teil wurden die Betrachtungen auf Freileitungsnetze erweitert.

4.1 Installierte Leitungen als Bewertungskriterium

Das Übertragen des Ansatzes ergibt genaue Anzahl, Typen sowie Längen und Verlegejahre von Kabeln und Freileitungen. Als ein Bewertungskriterium sind die innerhalb eines Schutzbereiches installierten Leitungen und Kabel anzusehen. Es werden PE, VPE und Massekabel sowie Freileitungen unterschieden. Die Zusammensetzung innerhalb des Netzes sowie in den Schutzbereichen lässt sich systematisch darstellen und bewerten (**Abbildung 3**)

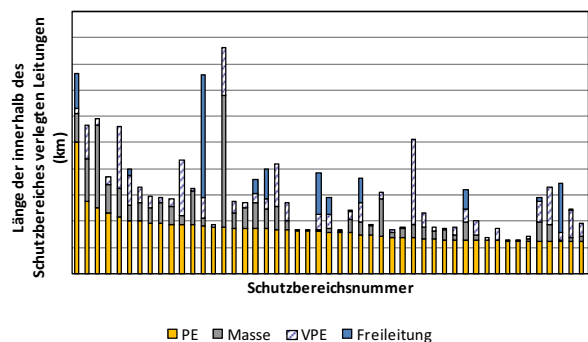


Abbildung 3 - Schutzbereichszusammensetzung nach Leitungsarten (Auswahl)

Es erfolgte eine Sortierung nach der vorhandenen Länge von PE-Kabeln. Die innerhalb der Schutzbereiche vorhandenen Kabeltypen und Freileitungen sowie deren Länge sind leicht erkennbar.

Auf Basis der Möglichkeiten des Simulationssystems ist eine Zuordnung weiterer Kriterien möglich. Hierzu gehören Daten wie Querschnitte, genaue Kabel- bzw. Freileitungstypen oder unternehmensspezifische Kriterien. Eine genauere Betrachtung einzelner, eventuell als kritisch eingestufte Schutzbereiche ist möglich.

Ergänzend ist die Zusammensetzung einzelner Kabelstrecken darstellbar. Diese können aus einem bzw. mehreren zum Teil unterschiedlichen MS-Kabelabschnitten und somit verschiedenen Kabeltypen bestehen. So können Kabelstrecken, bei denen z.B. ein Massekabel zwischen zwei Kunststoffkabeln liegt, problemlos identifiziert und priorisiert werden.

4.2 Im Schutzbereich installierte Leistung als Bewertungskriterium

Ermittelbar ist weiterhin die Leistung, die im Fehlerfall innerhalb eines Schutzbereiches ausfällt. Schutzabschnitte mit verhältnismäßig hoher Abnahmeleistung sind bei der zu erwartenden Qualitätsregulierung als kritisch anzusehen. Es wird eine Prüfung der Zusammensetzung der abgenommenen Leistung vorgeschlagen (**Abbildung 4**). Innerhalb dieser Betrachtung werden Stationen mit Schutzfunktion als Schutzbereichsendpunkt betrachtet. Die innerhalb des Schutzbereiches installierten Anlagenkompo-

nenten sind in ihrer Anzahl und Leistung bekannt. Somit ist die durchschnittliche Stationsbemessungsscheinleistung als ein weiteres Bewertungskriterium ermittelbar.

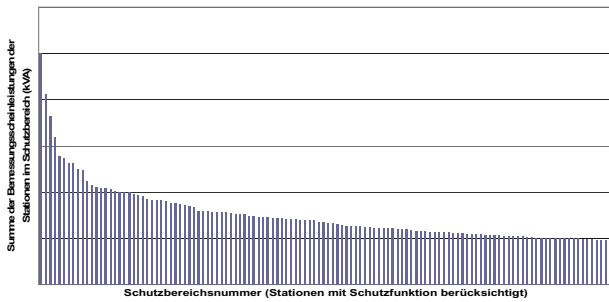


Abbildung 4 - Leistung in Schutzbereichen (Auswahl; Stationen mit Schutzfunktion als Trennstelle im Fehlerfall berücksichtigt)

Auch die physische Anzahl der Stationen und die durchschnittliche Stationsbemessungsscheinleistung werden für Bewertungen herangezogen.

4.3 Zusammengesetzte Ergebnisse als Bewertungskriterium

Basierend auf den bisherigen Ergebnissen ist eine Kombination der Schutzbereichsmerkmale möglich. Werden im Vorfeld einzelne Kabeltypen als kritisch eingestuft, ist vor allem die in den demnach als kritisch identifizierten Schutzabschnitten installierte Leistung von Interesse. Das Ergebnis lässt sich leicht visualisieren (Abbildung 5). Die Abbildung ist nach der Länge der Freileitungsabschnitte geordnet.

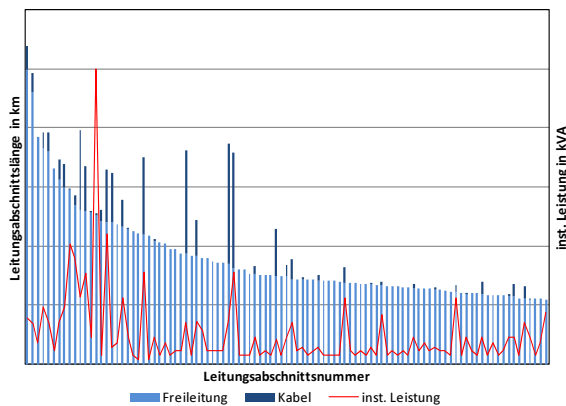


Abbildung 5 - Leistung und Zusammensetzung von ausgewählten Freileitungsstichstrecken innerhalb des Netzes

Dargestellt ist die Zusammensetzung von Stichstrecken, die über eine T-Verteilung bzw. T-Muffe angebunden sind. Ein separates Schalten ist hier nur bedingt möglich. Besonders kritisch sind vor allem Fehler an einer mit der T-Verteilung bzw. -Muffe verbundenen Leitung. Die in einem solchen Fehlerfall nicht zuschaltbare Leistung wurde im Diagramm auf einer zweiten Achse (installierte Leistung) abgebildet. Für Einzelfallbetrachtungen ist eine nach Kabeltypen differenzierte Darstellung generierbar.

4.4 Zuverlässigkeitskennzahlen als Bewertungskriterium

Auf Basis der vom Netz bekannten Daten sind unter Annahme einiger Faktoren Zuverlässigkeitskennzahlen ermittelbar. Das Vorgehen orientiert sich an den Vorgaben der DISQUAL-Kennzahlen [5]. Verwendung finden die Kennzahlen SAIFI und SAIDI. SAIFI steht für System Average Interruption Frequency Index und gibt an, wie oft ein Kunde / ein Netz durchschnittlich pro Jahr ausfällt. SAIDI steht für System Average Interruption Duration Index und gibt an, wie viele Minuten im Jahr ist ein Kunde durchschnittlich nicht versorgt wird. Prämisse ist, dass in jedem Schutzbereich genau ein Fehler mit Trennung des Bereiches vom Netz auftritt. Ergänzend ist ein Zeitraum bis zu Schaltheandlungen, durch die die Versorgung wieder hergestellt wird, festzulegen. Dieser Umstand fand bei der Entwicklung des Bewertungssystems Berücksichtigung. Der verteilungsartige Charakter der Zeit bis zu einer Schaltheandlung wurde nicht berücksichtigt [4]. Zur besseren Vergleichbarkeit wurde der jeweils hinterlegte Wert als Basis für die Bewertung des gesamten Netzes übernommen. Somit sind die Zuverlässigkeitskennwerte SAIDI und SAIFI für das betrachtete Netz bekannt (Abbildung 6).

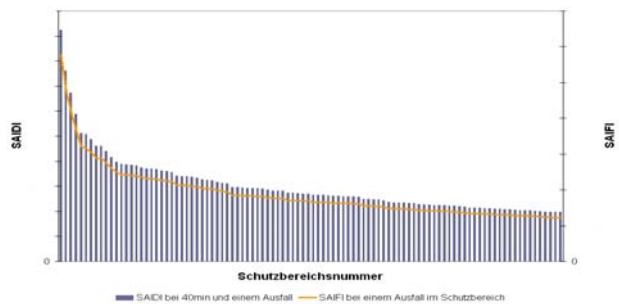


Abbildung 6 - Zuverlässigkeitskennzahlen (SAIDI und SAIFI) bei einem Ausfall pro Schutzbereich und 40 min Ausfalldauer

Im konkreten Beispiel ist die erwünschte Gleichverteilung der Zuverlässigkeitskennzahlen der einzelnen Schutzabschnitte zu erkennen.

4.5 Erwartungs- und Erfahrungswerte als Bewertungskriterium

Werden den Betriebsmitteln erwartete Ausfallhäufigkeiten zugeordnet, sind weitere Betrachtungen möglich. Basis hierfür ist eine netzbezogene Störungsstatistik. Abbildung 7 zeigt einen Überblick der bei Massekabeln aufgetretenen Störungen (Häufigkeiten) im betrachteten Netz.

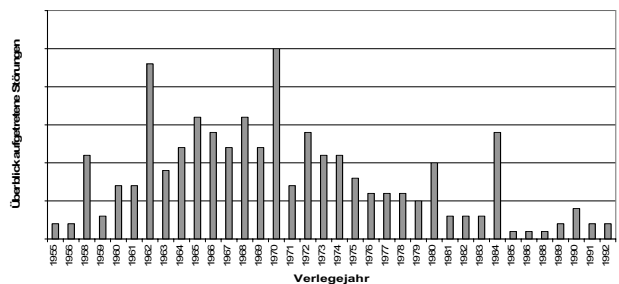


Abbildung 7 - Fehlerhäufigkeit für Massekabel nach Verlegejahren im betrachteten Netz

Den fehlerhaften Kabeln wurde die aus dem jeweiligen Jahr vorhandene Gesamtmenge der Kabel zugeordnet. Durch Normierung auf Störungen auf 100 km sind die nach Verlegejahren differenzierten Bestände vergleichbar. Die sich ergebende Entwicklung des Störgeschehens lässt sich darstellen (**Abbildung 8**).

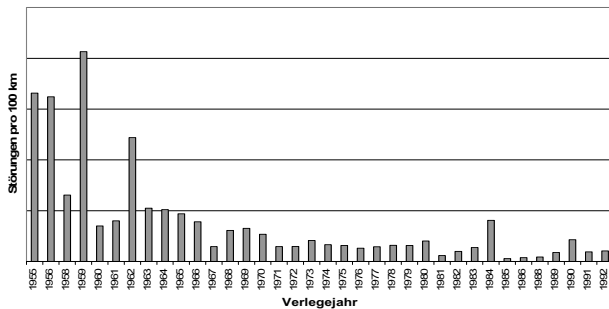


Abbildung 8 - Auf Verlegejahr und Kabelabschnittlänge normierte Verteilung der Störungen

Zu erkennen ist der Trend zu einem kontinuierlichen Ansteigen der Fehlerrate. Gleiche Untersuchungen wurden auch für PE-Kabel vorgenommen. Es ergibt sich eine ähnliche Statistik (**Abbildung 9**).

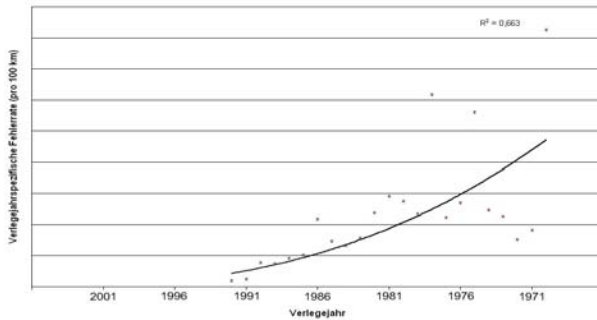


Abbildung 9 - Auf Kabellänge und Legejahr normierte Verteilung der Störungen bei PE-Kabeln

Ergebnis der Zuordnung dieser Daten zur Schutzbereichszusammensetzung sind Erwartungswerte für die Ausfallwahrscheinlichkeit der Schutzbereiche. In Kombination mit den bereits vorgestellten Kriterien wurden weitere Ansätze für eine Netzbewertung entwickelt. Eine Bewertungsmatrix für das untersuchte Netz ist in **Abbildung 10** dargestellt.

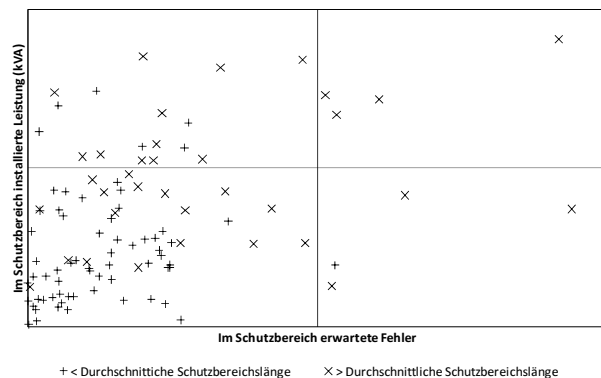


Abbildung 10 – Fehlererwartungs-Schutzbereichsleistungsmatrix

Basis sind die innerhalb der Schutzbereiche installierten Kabel und Freileitungen. Die Zuordnung erwarteter Ausfälle erfolgte für Masse- und PE-Kabel anhand der vorhandenen Länge sowie des jeweiligen Verlegejahres.

Zu erkennen ist die Gewichtung zwischen der innerhalb des Schutzbereiches installierten Leistung und der berechneten erwarteten Fehler innerhalb dieses Schutzbereiches. Neben der im Schutzbereich installierten Leistung können natürlich auch weitere Kriterien herangezogen werden. Sind die kritischen Schutzbereiche identifiziert, ist mit Hilfe des Systems die jeweilige Zusammensetzung der Betriebsmittel analysierbar. So lassen sich Streckenabschnitte mit erhöhtem Ausfallrisiko identifizieren und begründet in die Investitionsplanung einbeziehen.

5 Zusammenfassung

In Auswertung der bisher ermittelten Ergebnisse konnte erstmalig eine direkt anwendbare Fehlererwartungs-Schutzbereichsleistungsmatrix entwickelt werden.

Der vorhandene Investitionsbedarf lässt sich somit abschätzen und objektiv begründen. Auch die Bewertung von Investitionsalternativen wird durch Anwendung des Systems auf künftige Netze möglich.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Bewertung existierender Netze nur anhand einer umfassenden Datenbasis möglich ist. Das Hauptproblem ist die Abbildung komplexer Zusammenhänge, die durch das historische Wachstum der Netze bedingt sind. Das vorliegende Werkzeug ermöglicht eine objektive Bewertung dieser Strukturen. Diese können einfach und übersichtlich visualisiert werden. Besondere Bedeutung hat der Einbezug von Ausfallerwartungen der verschiedenen Kabeltypen. Hierdurch ist eine Segmentierung der innerhalb eines Netzes vorhandenen Schutzbereiche anhand ihrer spezifischen Ausfallerwartung möglich.

Durch die Betrachtung auf Schutzbereichsebene und durch eine topologisch genaue Abbildung des Netzes ist es möglich, gezielt Schwachstellen zu identifizieren. Hierdurch kann eine Ableitung des notwendigen Investitionsbedarfs erfolgen. Es besteht weiterhin die Möglichkeit, diesen mit erhöhter Genauigkeit zu planen. Ebenso kann das Verhalten des Netzes nach der Umsetzung von Investitionen abgebildet werden. Eine Abschätzung der Nachhaltigkeit der vorgenommenen Investitionen ist möglich.

Die notwendige, hochgradig präzise Datenbasis steht jedoch nicht in allen Unternehmen zur Verfügung und muss im Zweifel mit entsprechendem Aufwand generiert werden. Kritisch anzumerken ist weiterhin die Verwendung historischer Daten bei der Ausfallwahrscheinlichkeit von Betriebsmitteln. Das Ermitteln fundierter Größenordnungen für die Ausfallwahrscheinlichkeiten nach der vorab beschriebenen Methode stellt eine aktuelle Aufgabe dar.

6 Literatur

- [1] Schufft, W., Hetzel, S.: Bewertung von Investitionsstrategien in Mittelspannungs-Kabelnetzen, EW 15 vom 23. Juli 2007, S. 28 ff
- [2] Schufft, W., Hetzel, S.: Assessment of Investment Strategies in Medium Voltage Cables 51. IWK, Ilmenau
- [3] Kaufmann, W., Planung öffentlicher Elektrizitätsverteilungs-Systeme, Berlin, 1995, S. 3./4 ff
- [4] Hiller, Dr. Th., Methoden und Werkzeuge zur Optimierung des Störungsmanagements in Verteilungsnetzen, Shaker Verlag, Aachen 2004
- [5] UNIPEDE: Kenngrößen der Verfügbarkeit elektrischer Energieversorgung, Abschlussbericht der Arbeitsgruppe 50.05 DISQUAL (Distribution Quality), 1997
- [6] Schufft, W., Hetzel, S.: Assessment of Investment Strategies in Medium-Voltage Cable Grids, 15th ISH Proceedings T6-671