

Analyse typischer Trassenfaktoren von kabelbasierten Verteilnetzen und Validierung des Dijkstra-Algorithmus zur Modellierung von Kabeltrassen

Themenbereich: (2) Energieerzeugung/-infrastruktur und Netze
Dominik J. STORCH¹⁽¹⁾, Simon KREUTMAYR⁽¹⁾, Sebastian SEIFRIED⁽¹⁾, Christian GUTZMANN⁽²⁾, Michael FINKEL⁽¹⁾, Rolf WITZMANN⁽³⁾
⁽¹⁾Hochschule Augsburg, ⁽²⁾SWM Infrastruktur GmbH & Co. KG,
⁽³⁾Technische Universität München

Motivation und zentrale Fragestellung

Im Forschungsprojekt LINDA 4 H₂O soll das grundsätzliche Potenzial der Notstromversorgung von Trinkwasserversorgungsanlagen mit Biogasanlagen im Inselnetz bewertet werden [1]. Hierbei ist es für simulative Voruntersuchungen notwendig, eine realistische Kabeltrasse zwischen den untersuchten Biogas- und Wasserversorgungsanlagen zu bestimmen. Da insbesondere Kabel in der Regel entlang des bestehenden Straßennetzes verlegt werden [2] und die benötigte Kabellänge sowohl technische als auch betriebswirtschaftliche Parameter maßgeblich beeinflusst, ist eine Verwendung der Luftlinienentfernung unzureichend. Da keine adäquate Planungsgrundlage zu typischen, regional anzunehmenden Trassenfaktoren existiert, wurde hierbei zur Bestimmung der realistisch benötigten Kabellängen der Dijkstra-Algorithmus eingesetzt, mit welchem die Kabeltrasse auf kürzestem Weg entlang des bestehenden Straßennetzes modelliert werden kann.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, diese Informationslücke zu schließen und typische Trassenfaktoren für unterschiedliche Bebauungsstrukturen sowie Spannungsebenen zu bestimmen, welche sodann als Planungsgrundlage für weitere Forschungsprojekte dienen können. Hierbei werden sowohl reale Netzdaten von Verteilnetzbetreibern ausgewertet, als auch ein auf dem Dijkstra-Algorithmus basierendes Modellierungstool zur Abschätzung durchschnittlicher Trassenfaktoren in vordefinierten Gebieten ohne verfügbare Netzdaten entwickelt. Beim Vergleich mit realen Netzdaten wird zudem der Einsatz des Dijkstra-Algorithmus zur Modellierung einer realitätsnahen Kabeltrasse validiert.

Methodische Vorgangsweise

Der Trassenfaktor k_T der Verbindung v wird gemäß Gleichung (1) definiert. Hierbei stellt $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ die Menge aller untersuchten Verbindungen dar, l_{Kabel} beschreibt die tatsächliche Länge des Kabels und l_{Luft} entspricht der Luftlinienentfernung der zu verbindenden Orte.

$$k_{T,v} = \frac{l_{\text{Kabel},v}}{l_{\text{Luft},v}} \quad (1)$$

Sind entsprechend aufbereitete Daten zur lokalen Netztopologie und Kabellänge vorhanden, ist eine Berechnung des Trassenfaktors mittels Gleichung (1) direkt durchführbar. Sollen allerdings typische Trassenfaktoren für eine Region mit unbekanntem Netzverlauf approximiert werden, ist die Vorgehensweise komplexer. Grundlage für weitere Untersuchungen stellen hierfür im entwickelten Modellierungstool die frei verfügbaren Geodaten von OpenStreetMap [3] zum Straßennetz sowie den Gebäuden des entsprechenden Untersuchungsgebiets dar. Es erfolgt eine randomisierte Auswahl eines Gebäudes im Untersuchungsraum, welches als simulativer Startpunkt der Kabeltrasse dienen soll. Anschließend wird ein weiteres Gebäude zufällig bestimmt, welches sich in einer für die entsprechende Spannungsebene und Bevölkerungsdichte realistischen Entfernung befindet. Dieses dient als simulativer Endpunkt der Kabeltrasse.

Es wird unterstellt, dass es das Ziel eines Netzbetreibers zur Minimierung der Kosten und des Spannungsfalls ist, zwei zu verkabelnde Orte auf möglichst kurzem Wege zu verbinden. Daher wird unter Verwendung des Dijkstra-Algorithmus der kürzeste Pfad zwischen Start- und Endknoten entlang des bestehenden Straßennetzes determiniert. Wird hiernach die resultierende Distanz entlang des Straßennetzes mit der Luftlinienentfernung verglichen, kann der Trassenfaktor für diese Verbindung bestimmt werden. Wird dieses Prozedere für eine hohe Anzahl an Iterationen wiederholt, können Rückschlüsse zu typischen Trassenfaktoren eines Versorgungsgebiets gezogen werden. Zur Validierung des Simulationsmodells werden die Ergebnisse abschließend mit realen Trassenfaktoren, welche auf existenten Netzdaten von Verteilnetzbetreibern beruhen, verglichen. Der Vergleich mit

¹ Jungautor, An der Hochschule 1, 86161 Augsburg, +49 821 5586-3362, dominik.storch@hs-augsburg.de, <https://www.hs-augsburg.de/Elektrotechnik/Dominik-Storch-M.Sc.-M.A..html>

realen Netzdaten erlaubt zudem eine Bewertung der Verwendung des Dijkstra-Algorithmus zur Modellierung einer realistischen Kabeltrasse. Die angewendete Methodik wird in Abbildung 1 zusammengefasst.

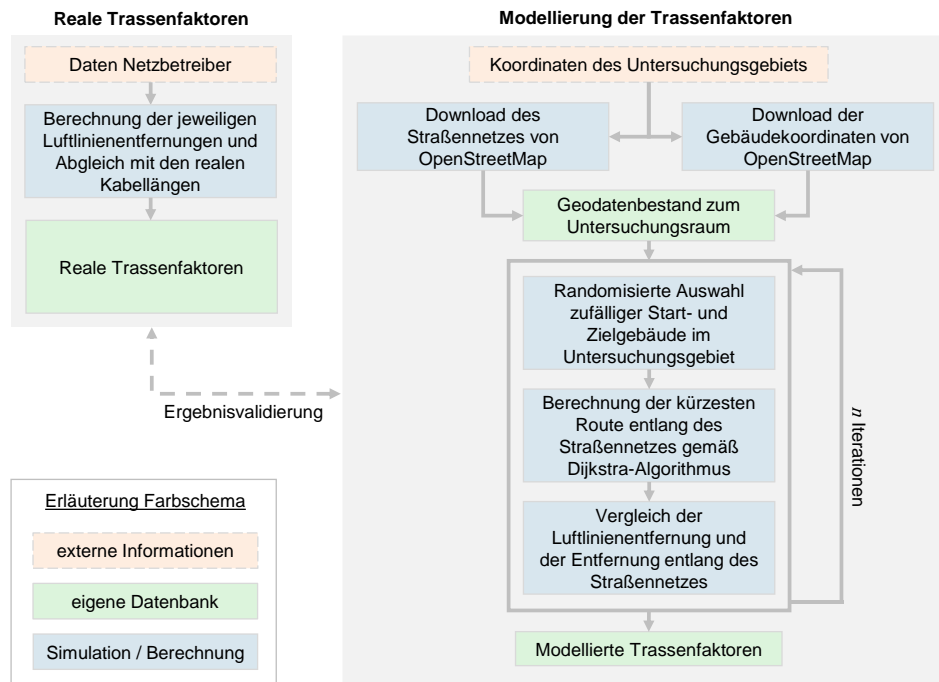


Abbildung 1: Methodik zur Trassenfaktorenbestimmung

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Nachfolgend werden exemplarisch die Ergebnisse für die Untersuchung von urbanen Mittelspannungsringen aufgezeigt. Zur realen Trassenfaktorenbestimmung wurden 18 typische Mittelspannungsringe der SWM Infrastruktur GmbH & Co. KG analysiert. Hierbei wurden stets die Kabelstrecken zwischen den Ortsnetzstationen untersucht. Abbildung 2 zeigt eine statistische Auswertung der Trassenfaktoren, wobei der Trassenfaktor jeder untersuchten Kabeltrasse unabhängig von der Kabellänge gleichgewichtet wird. Die Berechnung des mittleren Trassenfaktors $k_{T,avg}$ wird in Gleichung (2) beschrieben. Auf die Darstellung von „Ausreißerwerten“ wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit der Grafiken verzichtet. Eine Erklärung der Boxplot-Darstellungsform wird in [4] gegeben. Es wird deutlich, dass der mittlere reale Trassenfaktor bei 1,77 (Modellierung: 1,67) und der Median bei 1,57 (Modellierung: 1,56) liegt. Werden nicht die gleichgewichteten Trassenfaktoren der einzelnen Kabelstrecken, sondern der Gesamttrassenfaktor des untersuchten Netzes (vgl. Gleichung (3)) betrachtet, erhöht sich die Präzision der Modellierungsergebnisse weiter. Der reale $k_{T,tot}$ beträgt 1,65, während der modellierte $k_{T,tot}$ 1,64 entspricht. Es resultiert somit eine Abweichung des modellierten Trassenfaktors von unter einem Prozent.

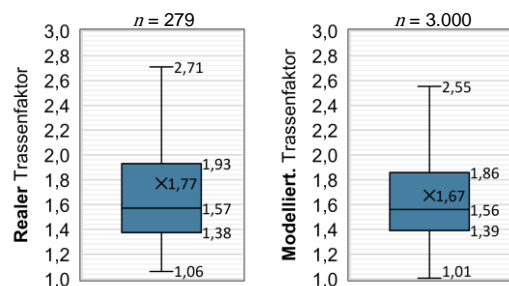


Abbildung 2: Trassenfaktoren urbaner Mittelspannungsverbindungen – Vergleich realer und simulierter Werte

$$k_{T,avg} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{v \in V} k_{T,v} \quad (2)$$

$$k_{T,tot} = \frac{\sum_{v \in V}^n l_{Kabel,v}}{\sum_{v \in V}^n l_{Luft,v}} \quad (3)$$

Die Plausibilität und Aussagekraft der Modellierungsergebnisse können aufgrund der geringen Abweichung zu den realen Auswertungen als hoch angesehen werden. In der Langfassung werden neben einer ausführlicheren Beschreibung der Methodik, der Trassennachbildung mittels Dijkstra-Algorithmus und dem Modellierungstool auch Resultate für urbane Hochspannungsnetze sowie erwartbare Trassenfaktoren in ländlichen Regionen vorgestellt.

Literatur

- [1] D. Storch et al., „Lokale Inselnetzversorgung von Wasserversorgungsanlagen mit Biogasanlagen bei großflächigen Stromausfällen“, ETG-CIRED-Workshop 2021 (D-A-CH): Innovationen im Verteilernetz, München, 2021.
- [2] Netze BW GmbH, „Information für Bauunternehmen - Schutz von Kabeln, Rohr- und elektrischen Freileitungen“, online, verfügbar unter: https://assets.ctfassets.net/xytfb1vrn7of/1KPPI2rW36wEQUKkMceGcM/7d5c64a00afe46509b199f7898c1349a/Information_f__r_Bauunternehmen.pdf, 2021
- [3] Geofabrik GmbH, „OpenStreetMap Data Extracts“, online, verfügbar unter: <http://download.geofabrik.de/>, Zugriff am 07.11.2022
- [4] V. Vignesh et al., „Data analysis using Box and Whisker plot for Stationary shop analysis“, ICEI 2017 – International Conference on Trends in Electronics and Informatics, Pune, India, verfügbar unter: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8300874>, 2017